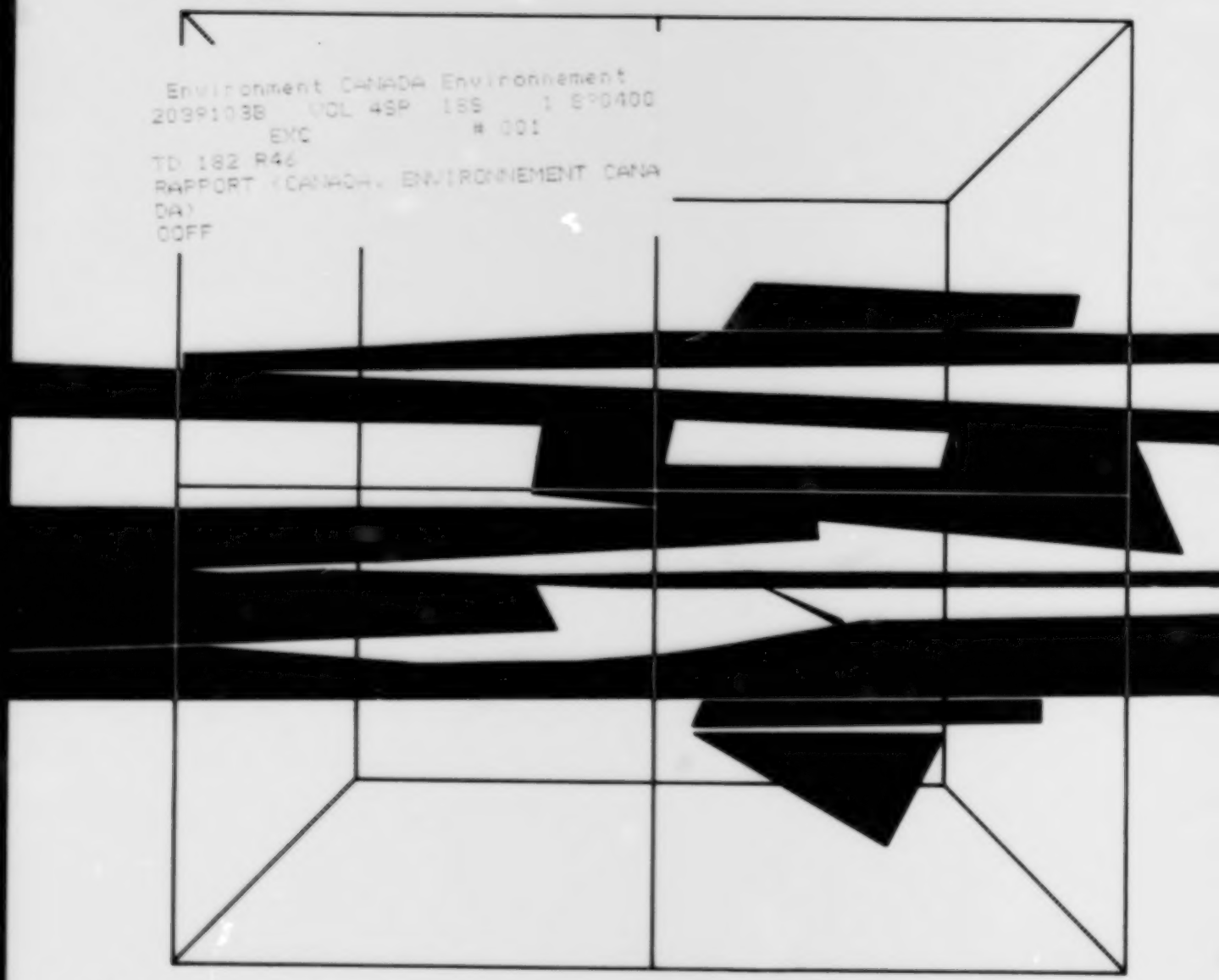
Techniques d'intervention pour le nettoyage des produits chimiques dangereux sur les sédiments

Rapport SPE 4/SP/1
Avril 1989

Environment CANADA Environnement
2039P103B VOL 4SP 1SS 1 890400
EVC # 001
TD 182 R46
RAPPORT (CANADA. ENVIRONNEMENT CANA
DA)
OOFF



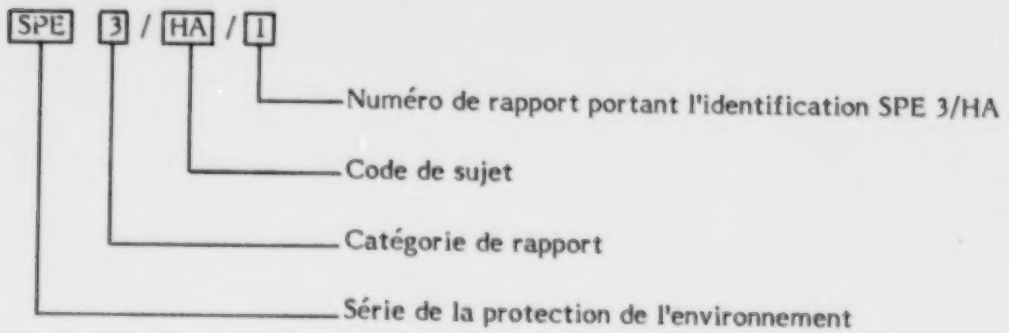
Environnement Canada Environment Canada

Canada

89-03644/

SÉRIE DE RAPPORTS DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotage:



Catégories

1 Règlements/Lignes directrices/ Codes de procédure
2 Consultation publique: évaluation des problèmes, options de contrôle
3 Recherche et développement technologique
4 Revues de la documentation
5 Relevés
6 Évaluations des impacts sur l'environnement
7 Surveillance
8 Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9 Guides

Sujets

AG Agriculture
AN Technologie anaérobie
AP Pollutants atmosphériques
AT Toxicité aquatique
CC Produits chimiques commerciaux
CE Consommateurs et l'environnement
CI Industries chimiques
FA Activités fédérales
FP Traitement des aliments
HA Déchets dangereux
IC Chimie inorganique
MA Pollution marine
MM Exploitation minière et traitement des minéraux
NR Régions du Nord et rurales
PF Papier et fibres
PG Production de l'électricité
PN Pétrole et gaz naturel
SF Traitement de surface
SP Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM Méthode de référence normalisée
TS Systèmes de transport
TX Textiles
UP Pollution urbaine
WP Protection/préservation du bois

Sujets et codes additionels sont introduits au besoin. Une liste de rapports du SPE peut être obtenue en s'adressant aux Publications de la protection de l'environnement, Conservation et Protection, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

TECHNIQUES D'INTERVENTION POUR LE NETTOYAGE DES PRODUITS CHIMIQUES DANGEREUX DÉPOSÉS SUR LES SÉDIMENTS

Par

Nancy Bonham

pour la

Direction du développement technologique et des services techniques
Protection de l'environnement
Conservation et Protection
Environnement Canada

Rapport SPE 4/SP/1
Avril 1989

Données de catalogage avant publication (Canada)

Bonham, N. (Nancy)

Techniques d'intervention pour le nettoyage des produits chimiques dangereux déposés sur les sédiments

(Rapport ; SPE 4/SP/1)
Publ. aussi en anglais sous le titre: Response techniques for the cleanup of sinking hazardous materials.
Comprend des références bibliogr.
ISBN 0-662-95412-2
Cat. MAS no En49-14/4-1F

1. Déversements de déchets -- Contrôle. 2. Déchets dangereux -- Contrôle. 3. Pollution. I. Canada. Direction du développement technologique et des services techniques. II. Canada. Environnement Canada. III. Titre. IV. Collection: Rapport (Canada. Environnement Canada) ; SPE 4/SP/1.

TD196.C4514 B66 1989 363.7'384 C89-097066-1

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1989
N° de cat. En49-14/4-1F
ISBN 0-662-95412-2
IMPRIMEURS BEAUREGARD

AVIS

La Direction du développement technologique et des services techniques a revu le présent rapport et en a autorisé la publication. Il n'en résulte pas nécessairement que le contenu reflète les opinions et les politiques d'Environnement Canada. Toute mention de marques déposées ou de produits commerciaux ne doit nullement être interprétée comme une recommandation d'emploi ou une homologation.

COMMENTAIRES DES LECTEURS

Les lecteurs qui désirent faire des commentaires sur le contenu de ce rapport sont priés de les communiquer à:

F. Laperrière
Direction du développement technologique et des services techniques
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

This report is available in English under the title *Response Techniques for the Cleanup of Sinking Hazardous Chemicals*. For copies, please contact:

Environmental protection publications
Conservation and Protection
Environment Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

RÉSUMÉ

Les produits chimiques plus denses que l'eau et peu solubles et qui coulent posent de sérieux problèmes en cas de déversement dans l'eau. Appartiennent à cette catégorie les composés organiques aromatiques, les hydrocarbures halogénés, quelques composés organométalliques ainsi que le brome et le mercure.

Si les produits déversés sont à l'état liquide, les problèmes seront d'autant plus sérieux. Ils ont en effet tendance à se déposer ou à circuler près du fond et peuvent s'infiltrer dans les sédiments et avoir à long terme des effets toxiques pour la faune et la flore aquatiques. Leur détection et leur nettoyage posent certaines difficultés.

Les solutions possibles à ce problème de pollution sont: le laisser-faire, l'enlèvement des matériaux pollués afin de les traiter, le traitement physico-chimique *in situ* ou l'enfouissement. Ces options techniques ainsi que leurs limites et leurs coûts sont examinés dans ce rapport.

ABSTRACT

Chemicals denser than water and having a low solubility are very difficult to deal with if accidentally spilled into water bodies. Chemicals in this category include aromatic organics, halogenated hydrocarbons, some organometallic compounds and the elements bromine and mercury.

Having a tendency to fall or to flow near the river bottom, the sinkers may permeate the sediments if they are in a liquid form. They can produce chronic toxic effects in aquatic flora and fauna. Difficulties are associated with their detection and cleanup.

The possible courses of action when dealing with this type of contamination are: leave it there, remove it for treatment, recover and dispose of it, or use in situ physical/chemical treatment and/or isolation. These options and various techniques, their limitations and costs are examined in this report.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ/ABSTRACT		IV
LISTE DES FIGURES		VIII
LISTE DES TABLEAUX		IX
1	**Introduction**	1
1.1	Tactiques d'intervention	1
1.1.1	Enlèvement des sédiments et des polluants	2
1.1.2	Traitement *in situ*	2
1.1.3	Traitement sur place	3
1.2	Interventions documentées	3
1.3	Matrices d'évaluation	3
2	**Le dragage**	10
2.1	Types de dragues	12
2.1.1	Dragues mécaniques	12
2.1.2	Dragues hydrauliques	14
2.1.3	Dragues pneumatiques	18
2.1.4	Dragues de conception spéciale	19
2.2	Évaluation d'un système de dragage	22
2.3	Considérations environnementales	30
2.3.1	Effets sur l'environnement	30
2.3.2	Contrôle de la turbidité	31
2.3.3	Études sur la turbidité et la remise en suspension du polluant	31
2.4	Recommandations pour l'utilisation des dragues lors du nettoyage d'un déversement	35
2.4.1	Restrictions et disponibilité	35
2.4.2	Coûts du dragage	36
3	**Retenue**	37
3.1	Digues immergées et semi-immergées	37
3.2	Tranchées	38
3.3	Systèmes de dérivation	39
3.4	Barrage de retenue pour matières dangereuses	40
4	**Recouvrement et solidification/cimentation**	42
4.1	Matériaux inertes de recouvrement	43
4.2	Matériaux de recouvrement actifs	46
4.3	Agents de scellement	47
4.3.1	Coulis et ciments	47
4.3.2	Membranes de polymère	50
4.4	Techniques de mise en place	52
4.4.1	Dragues porteuses (ou à trémies)	52
4.4.2	Drague hydraulique/barge-chaland	54
4.4.3	Autres méthodes de mise en place	62

5	**Procédés de traitement physique**	66
5.1	Absorption/adsorption	66
5.1.1	Application sur les produits chimiques ayant coulé	67
5.1.2	Types de sorbants	67
5.1.3	Techniques d'adsorption	67
5.2	Gélifiants	83
5.2.1	Application à des produits chimiques ayant coulé	84
5.2.2	Gélifiant polyvalent MGA	85
5.2.3	Techniques d'application	86
5.3	Filtration sur milieu granulaire	87
5.4	Procédés de séparation par gravité	88
5.4.1	Flottation	88
5.4.2	Décantation	88
5.4.3	Centrifugation	89
5.4.4	Hydrocyclone	89
5.5	Procédés de séparation par membrane	89
5.5.1	Osmose inverse	89
5.5.2	Ultrafiltration	90
6	**Procédés de traitement chimique**	91
6.1	Neutralisation	91
6.1.1	Neutralisants	95
6.1.2	Restrictions et disponibilité dans le commerce	96
6.2	Formation d'un précipité	97
6.2.1	Précipitants	98
6.2.2	Restrictions et disponibilité dans le commerce	99
6.3	Coagulation/floculation	100
6.3.1	Agents de coagulation/floculation	100
6.3.2	Restrictions et disponibilité dans le commerce	101
6.4	Extraction par solvant	101
6.5	Polymérisation	102
6.6	Oxydoréduction	102
6.6.1	Agents oxydants	103
6.6.2	Restrictions et disponibilité dans le commerce	104
6.7	Traitement biologique	105
6.8	Dispersion/dilution	108
6.8.1	Dispersion mécanique	109
6.8.2	Dispersion chimique	110
6.9	Application de mesures de traitement chimique *in situ*	110
6.9.1	Application	110
6.9.2	Brassage	111
RÉFÉRENCES		113
ANNEXE A	ADRESSE DES SOCIÉTÉS	119
ANNEXE B	FICHES TECHNIQUES DES PRODUITS POUR LES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT PHYSIQUE	125
	- 3M Oil Absorbent	127
	- SSC Sorbent	128
	- Safestep Sorbent	129
	- Tampons absorbants Conwed D	130

- Granulés absorbants 131
- Couverture absorbante Conwed 132
- Diasorb 133
- SPC Oil Sorbent 134
- Agent gélifiant polyvalent - MGA 135
- Chem-Gel 136
- Indusorb 137
- Muck-up Adsorbent 138

ANNEXE C UNITÉS MOBILES DE TRAITEMENT PHYSICO-CHIMIQUE 139
- Système autonome Met-Pro (EPA) 141
- Système de floculation/décantation (EPA) 142
- Système de traitement de l'eau (Calgon) 143
- Système de purification de l'eau par adsorption sur charbon actif 144
- Système de traitement des eaux usées au charbon actif en poudre (PACT) 145
- Système de traitement physico-chimique (EPA) 146
- Hydrocyclone Demco 147
- Unité mobile d'osmose inverse/ultrafiltration 148
- Système d'ultrafiltration à fibres creuses 149

LISTE DES FIGURES

1	Drague à benne preneuse	13
2	Drague à cuiller	14
3	Drague à godets	14
4	Drague suceuse ordinaire	16
5	Drague à crépine	16
6	Drague à désagrégateur	17
7	Drague suceuse porteuse	17
8	Drague PNEUMA	18
9	Système de dragage OOZER	20
10	Fonctionnement de la pompe OOZER	20
11	Détail de l'orifice d'aspiration d'une pompe OOZER sans désagrégateur	21
12	La drague MUDCAT	22
13	Section type d'un barrage à jupe	32
14	Configurations types de déploiement d'un barrage à jupe	32
15	Construction d'une tranchée pour emprisonner des matières déversées qui coulent au fond de l'eau	38
16	Déploiement du barrage de retenue pour matières dangereuses	40
17	Mise en place d'un matériau de recouvrement au moyen d'une drague porteuse	42
18	Schéma du réseau de canalisations proposé pour une drague porteuse	53
19	Arrangement proposé de rampe de pulvérisation	54
20	Barge équipée pour le refoulement des matériaux par canalisation ouverte	56
21	Barge équipée d'un diffuseur	58
22	Détail du diffuseur	58
23	Barge porteuse équipée d'un tube à trémie télescopique	59
24	Recouvrement de sable par déchargeur de barge et épandeur de sable	60
25	Détail de l'épandeur	60
26	Aménagement proposé pour la barge de pompage	61
27	Vue détaillée du dispositif de pose de membrane protectrice	63
28	Vue d'ensemble d'une barge avec dispositif de pose de membrane à bord	63
29	Construction par méthode de mélange chimique en profondeur	64

LISTE DES TABLEAUX

1	Déversements mettant en cause des PCC et mesures prises	4
2	Déversements de PCC où il y a eu pollution des sédiments et mesures prises	5
3	Produits chimiques coulants solubles dans l'eau	7
4	Produits chimiques coulants insolubles dans l'eau	8
5	Déversements de produits coulants: facteurs limitatifs, exigences et coûts des mesures d'intervention (résumé)	9
6	Résumé des caractéristiques fonctionnelles des dragues	23
7	Scénario de déversement sur terre et dans des eaux non navigables	25
8	Scénario de déversement dans un cours d'eau	26
9	Scénario de déversement dans un port	27
10	Scénario de déversement en eaux libres	28
11	Répercussions potentielles des opérations de dragage	30
12	Dragues appartenant au secteur privé: distribution régionale	36
13	Produits chimiques et matières éliminables par enfouissement *in situ*	43
14	Caractéristiques des sites d'élimination recouverts existants	44
15	Matériaux inertes de recouvrement	44
16	Vitesses approximatives d'érosion de divers matériaux inertes	45
17	Matériaux de recouvrement actifs	48
18	Matériaux de recouvrement recommandés pour des produits chimiques donnés	48
19	Agents de recouvrement actifs sélectionnés: coûts, applications et densité	49
20	Propriétés des membranes synthétiques	51
21	Valeur de l'adsorption sur charbon actif pour les PCC organiques	71
22	PCC non adsorbés par le charbon actif	72
23	Compatibilité de liquides dangereux et d'adsorbants/absorbants choisis	78
24	Produits coulants réagissant au gélifiant polyvalent MGA	84
25	PCC miscibles à l'eau, sujets à la neutralisation	92
26	PCC non miscibles à l'eau, sujets à la neutralisation	92
27	Acides et bases appropriés pour la neutralisation de substances déversées	93
28	Produits coulants efficacement neutralisés par le dihydrogénoorthophosphate de sodium	95
29	Produits coulants efficacement neutralisés par le bicarbonate de sodium	96
30	Ions métalliques sujets à la précipitation aux sulfures	99
31	Produits chimiques coulants qui se prêtent à l'oxydation *in situ*	103
32	Traitement biologique	106
33	Produits qui selon le Chemical Hazards Response Information System (CHRIS) sont éliminables par dispersion	109
34	Résumé des techniques de brassage	112

1 INTRODUCTION

Les produits chimiques coulants (abrégés par après par PCC ou par le substantif coulants) sont des produits chimiques de densité supérieure à 1,0 et peu solubles dans l'eau. Cette catégorie comprend des produits dangereux organiques et inorganiques, par exemple: matières organiques aromatiques, hydrocarbures halogénés, certains composés organométalliques ainsi que le brome et le mercure. Ils existent à l'état solide et à l'état liquide. Pris en groupe, ces produits chimiques possèdent une vaste gamme de propriétés physiques et chimiques et présentent une grande variété de dangers.

Les PCC sont particulièrement difficiles à traiter ou à récupérer lorsqu'ils sont déversés dans l'eau. En raison de leur densité élevée, ils ont tendance à se déposer ou à circuler près du fond et s'ils sont à l'état liquide, ils peuvent s'infiltrer dans les sédiments. Le fait que ces produits chimiques disparaissent de la surface complique la détection et le nettoyage. Peu solubles, ils ne polluent habituellement l'eau que légèrement. En revanche, les produits accumulés dans les sédiments peuvent par la suite être absorbés par les organismes benthiques et pénétrer ainsi dans la chaîne alimentaire. S'ils ne sont pas récupérés, ils peuvent à long terme être toxiques pour la flore et la faune aquatiques. La dissolution graduelle d'un PCC non traité peut continuer à polluer l'écosystème pendant des années.

Les problèmes que pose le nettoyage des sédiments benthiques fluviaux pollués sont clairement apparus lors des opérations de nettoyage des sédiments benthiques de la rivière Ste-Claire. On a constaté la présence de sédiments contenant des produits chimiques organiques toxiques comme le perchloroéthylène, le tétrachlorure de carbone et l'hexachlorobenzène près de l'usine de la Dow Chemical Canada Inc. située sur la rivière Ste-Claire, à proximité de Sarnia, en Ontario. Au cours des opérations de nettoyage, le problème majeur consistait à enlever les sédiments sans remettre les polluants en suspension et sans compromettre la sécurité du personnel de nettoyage.

1.1 Tactiques d'intervention

Il y a trois tactiques d'intervention possibles en cas de déversement de PCC:

1) ne rien faire;
2) récupérer les polluants et draguer les sédiments pour les traiter, les récupérer et(ou) les éliminer;
3) traiter ou isoler les polluants *in situ* par des moyens physiques, chimiques ou physico-chimiques.

Bien que la première solution soit mentionnée dans plusieurs cas documentés, cette solution est généralement inacceptable en raison des risques pour l'environnement et pour la santé. La récupération mécanique des produits déversés par pompage ou dragage pour soit les traiter, les récupérer ou les éliminer ultérieurement, est la solution la plus courante et de nombreux experts considèrent que c'est la meilleure (Ellis et Payne, 1983; Akers *et al.*, 1981; Huibregtse *et al.*, 1977). L'isolation des sédiments pollués de la colonne d'eau et le traitement *in situ* ont reçu relativement peu d'attention et ne sont pas considérés comme des techniques de nettoyage établies.

1.1.1 Enlèvement des sédiments et des polluants. - Le dragage des sédiments pollués pose de nombreux problèmes techniques et économiques: cela demande notamment un équipement permettant de récupérer les sédiments pollués sans remettre les polluants en suspension, sans quoi on aggrave les risques qu'ils présentent pour les espèces aquatiques; il faut pouvoir délimiter l'étendue de la zone polluée et sur quelle hauteur les sédiments sont pollués; on doit appliquer des techniques de gestion des résidus de dragage; et il faut que les moyens mis en oeuvre pour les opérations de dragage soient efficaces sans qu'ils entraînent des coûts exorbitants (Wetzel *et al.*, 1984). Il y a quelques cas documentés de dragage de sédiments pollués en Amérique du Nord. Environnement Canada, l'EPA étatsunienne et la U.S. Coast Guard ont conduit des études qui traitent des problèmes soulevés ici.

1.1.2 Traitement *in situ*. - Le traitement *in situ* n'est pas admis comme une technique établie car la nature même de la plupart des produits chimiques appliqués *in situ* limite leur emploi à quelques cas précis de déversement. De nombreux agents utilisés pour atténuer les effets des produits déversés sont eux-mêmes toxiques si les quantités appliquées sont excessives, et la plupart du temps, de bons résultats ne sont obtenus qu'au prix d'applications généreuses. Il existe peu d'information sur la rapidité d'action et l'efficacité relative de chaque procédé de traitement *in situ*. L'application de produits chimiques pour atténuer l'effet des matières dangereuses déversées ne peut être justifiée qu'à condition que des contrôles appropriés soient mis en oeuvre et que l'on connaisse parfaitement les effets nocifs pour l'environnement. Certaines techniques de traitement physique, comme l'enfouissement par recouvrement, n'ont été reconnues que tout récemment comme techniques d'élimination agréées pour les sédiments pollués. L'isolation par des membranes synthétiques a été proposée et testée sur le terrain.

Parmi toutes les techniques d'intervention étudiées, la biodégradation et la dispersion sont les moins prometteuses. Les possibilités de biodégradation sont limitées

par la présence de microorganismes acclimatés propres au produit chimique déversé et par l'introduction ou la production possible d'agents pathogènes dans l'eau. La dispersion ne devrait jamais être considérée comme la meilleure solution en raison du danger qu'elle présente pour l'environnement et la santé.

1.1.3 Traitement sur place. - Il existe plusieurs types d'unités de traitement mobiles (monobloc ou à éléments multiples) pour l'élimination sur place des matières organiques en suspension et dissoutes. Pour la plupart des polluants, l'utilisation de techniques physiques et chimiques en série permet de ramener les teneurs à des niveaux acceptables et dans des limites pratiques.

1.2 Interventions documentées

Le nombre d'interventions mettant en cause des PCC est restreint et les cas documentés sont rares. Voir à ce sujet le tableau 1. Le tableau 2 résume les mesures prises là où il y a eu pollution des sédiments.

1.3 Matrices d'évaluation

Les mesures d'intervention appropriées aux diverses classes de PCC solubles et insolubles sont résumées aux tableaux 3 et 4. Une grille résumant l'étendue du nettoyage, les éléments y faisant obstacle, les exigences et les coûts de chaque technique de dépollution est présentée au tableau 5.

TABLEAU 1 DÉVERSEMENTS METTANT EN CAUSE DES PCC DANGEREUX ET MESURES PRISES (tiré de Bennett *et al.*, 1982)

Produit chimique dangereux	Confinement	Récupération ou traitement
Hydrocarbures et solvants contenant 2 % de BPC infiltrés dans un ruisseau voisin	- isolement du ruisseau avec des barrages et une conduite de dérivation par gravité	- excavation et enlèvement du sol de la fosse de récupération; traitement des lixiviats dans une colonne de 2,8 m^3 de charbon activé après filtration sur filtre jetable
Endrin à 18,6 % dans 3,8 l de pesticide dans un cours d'eau	- construction d'une digue de terre à l'entrée du réservoir; barrage de sacs de sable à la sortie, et système de dérivation du cours d'eau	- premier essai: épandage de 300 g de charbon actif granulaire à la surface (échec); - deuxième essai: liquide du réservoir pompé dans une colonne de charbon actif (succès)
Phénol à 5 % (80 000 kg) dans un cours d'eau	- aménagement d'un canal de récupération afin d'empêcher les eaux de ruissellement et les lessivats de pénétrer dans le cours d'eau	- eau du canal de récupération dirigée dans une colonne garnie de 28,3 m^3 de charbon actif; filtrat déversé dans le cours d'eau
Déversement de liquide de transformateurs (contenant des BPC) dans un ruisseau	- mise en place de barrages	- charbon actif pulvérulent, décantation et filtration sur sable
Dinitrobutylphénol dans un affluent	- déversoir à la sortie du lac endigué par des sacs de sable	- traitement par filtration en milieu mixte et sur charbon actif au moyen du système d'épuration mobile de l'EPA
Huile de pétrole et pentachlorophénol à 1 % (PCP; 3700 m^3) dans un cours d'eau	- aucun	- liquide pompé des puits de récupération dans des camions-citernes sous vide pour séparation huile/eau; l'eau a été pompée dans un système mobile de l'EPA comprenant une cuve de décantation avec écrémeur, unité de filtration et colonne d'adsorption sur charbon actif
Créosote dans un petit cours d'eau	- aucun	- dragage du cours d'eau avec un Mudcat et des appareils manuels; flottation par moussage et écrémage de l'écume au moyen d'un système d'épuration mobile de l'EPA
BPC dans une baie	- aucun	- aspirateurs manuels; bassin de décantation et floculants pour récupérer la matière particulaire; liquide épuré dans un système mobile de l'EPA par décantation, filtration et charbon actif
Pesticide composé de chlordane, d'heptachlore et de dérivés du pétrole (9,2 l) dans un cours d'eau	- digue de terre érigée en aval du déversement	- l'eau endiguée a été épurée au moyen d'un système mobile de l'EPA
BPC dans une baie	- aucun	- les BPC répandus sur le sol ont été absorbés avec de la sciure de bois; sédiments recouverts de déchets de bois, recouverts à leur tour de roches

TABLEAU 2 DÉVERSEMENTS DE PCC OÙ IL Y A EU POLLUTION DES SÉDIMENTS ET MESURES PRISES (tiré de Wetzel *et al.*, 1984)

Incident	Techniques de nettoyage*	Commentaires
DUWAMISH WATERWAY (Seattle, WA) Déversement de BPC dans un chenal à marée, affluent du Puget Sound	Drague Pneuma Rideau de bulles d'air Drague sous-marine manuelle Bassins de décantation Réservoir de décantation Élimination en décharge spéciale Enfouissement sur place Filtres à sable Adsorption sur charbon actif	- nettoyage en deux étapes: mesures d'urgence habituelles et nettoyage final planifié; les mesures initiales n'ont pas permis un nettoyage complet en raison de l'étalement des BPC sous l'action de la marée; nettoyage au moyen d'un système mobile de traitement physico-chimique de l'EPA (filtres à sable et charbon actif) et une drague Pneuma de fabrication italienne (drague pneumatique à faible turbidité) utilisée pour la première fois aux États-Unis
EMBOUCHURE DU MISSISSIPPI (Shell Beach, LA) Déversement de BPC dans un chenal à marée débouchant dans le golfe du Mexique	Drague suceuse Barges de décantation Élimination en décharge spéciale Coagulation/floculation Adsorption sur charbon actif	- la drague aspiratrice a été fabriquée avec des matériaux disponibles sur place; des plongeurs ont retiré les débris éparpillés dans la zone de déversement; un Chromascope a été utilisé pour localiser les amas de BPC
PORT HIRO (Kure-Shi, Japon) Accumulation d'azote et d'ammoniac dans les sédiments d'un port marchand côtier, attribuée au rejet prolongé d'effluents de fabrication de pâtes et papier	Drague de nettoyage Barges de décantation Solidification Élimination en décharge contrôlée Coagulation/floculation Adsorption sur charbon actif	- démonstration pilote pour un projet de restauration dans le port; démonstration d'un prototype de la drague Cleanup (drague hydraulique à faible turbidité)
JAMES RIVER (Hopewell, VA) Accumulation de Képone dans les sédiments d'un chenal à marée et un cours d'eau utilisé en pêche commerciale, affluent de la baie Chesapeake, attribuée au déversement prolongé d'eaux résiduaires	Drague à désagrégateur Drague suceuse du type Dustpan Élimination dans une colonne d'eau (Drague Oozer, bassins de décantation, solidification, élimination terrestre sur place, adsorption sur charbon actif, dégradation photochimique, ozonation, radiation, sorbants, recouvrement)	- études de faisabilité suivies d'une démonstration comparative des dragues à désagrégateur et du type Dustpan (toutes deux hydrauliques) par l'U.S. Army Corps of Engineers; un nettoyage à grande échelle est peu probable; les résultats de la démonstration et de la surveillance de la turbidité produite serviront à l'évaluation des projets de dragage d'entretien nécessaires dans la James River et autres plans d'eau
MILL RIVER (Fairfield, CT) Accumulation de plomb dans les sédiments d'un petit réservoir de retenue dans un affluent du Long Island Sound, attribuée au rejet prolongé d'eaux résiduaires industrielles	Drague hydraulique portative Ensablement Bassins de décantation Filtre-presse Solidification Élimination en décharge spéciale Élimination en décharge contrôlée Coagulation/floculation (Élimination en colonne d'eau, recouvrement, fixation)	- polymère coagulant pour faciliter la décantation des fins résidus de dragage; sédiments éliminés dans des décharges de déchets dangereux ou contrôlées, selon la teneur en plomb; filtres-presses à courroie pour assécher les sédiments; problèmes mécaniques dus aux débris (briques, clous) présents dans les sédiments
NORTH FORK HOLSTON RIVER (Saltville, VA) Accumulation de mercure dans les sédiments d'une petite rivière en zone rurale, à écoulement rapide, traversant une région industrielle, affluent de la Tennessee River, attribuée à des fuites probablement de longue date provenant des industries voisines	Dérivation du cours d'eau Batardeaux Drague à benne preneuse Drague chargeuse Tamisage des solides Élimination terrestre sur place Recouvrement	- la rivière a été dérivée au moyen de batardeaux faits de sacs de sable; ils ont été emportés deux fois par le fort courant; les tamis fins (1/4 de po) se colmataient rapidement; par contre, ceux de 1/2 po ont donné de bons résultats; les matériaux tamisés constituaient le tiers du volume total des sédiments retirés et contenaient 99 % du mercure récupéré; le fond de la rivière a été bétonné par voie hydraulique
BRAS SUD DE LA RIVIÈRE SHIAWASSEE (Howell, MI) Accumulation de BPC dans les sédiments d'une petite rivière peu profonde en milieu rural, affluent du lac Huron, attribuée au rejet prolongé d'eaux de refroidissement industrielles	Drague à benne preneuse Drague rétrocaveuse Drague manuelle de surface Drague amphibie Mesure de la turbidité Bassins de décantation Séparation des solides par décantation Élimination en décharge spéciale Élimination en décharge contrôlée Filtration du sable Adsorption sur charbon actif (Dérivation du cours d'eau, batardeaux, drague râclante, filtre-presse, solidification)	- la majorité des sédiments ont été récupérés par un système sous vide actionné par des opérateurs travaillant à même la rivière peu profonde, puis ont été séparés en particules grossières et fines par décantation et filtrage; ils ont été évacués dans des décharges de déchets dangereux ou contrôlées, selon la teneur en BPC; des barrages ont été construits en travers du cours d'eau pour contenir les sédiments pollués remis en suspension

TABLEAU 2 (suite)

Incident	Techniques de nettoyage*	Commentaires
SOUTH RIVER ET BRAS SUD DE LA RIVIÈRE SHENANDOAH (Waynesboro, VA) Accumulation de mercure dans les sédiments d'une petite rivière et d'une rivière moyenne dans une région rurale de la vallée du Shenandoah, affluent du Potomac, attribuée au lessivage de déchets industriels enfouis depuis longtemps	Laisser-faire (Dérivation du cours d'eau, batardeaux, drague amphibie, évacuation dans une décharge spéciale)	- une étude de faisabilité a montré que le "laisser-faire" était la meilleure solution; les dommages causés au lit de la rivière, les coûts et l'élimination graduelle des polluants par les processus naturels ont été les principaux facteurs d'évaluation; l'industrie responsable surveillera les sédiments, l'eau et la faune ichtyologique pendant 100 ans
PORTS DE STAMFORD ET NEW HAVEN (Stamford et New Haven, CT) Accumulation de métaux lourds dans les sédiments d'un port marchand à marée, affluent du Long Island Sound; sources des polluants non établies	Drague à benne preneuse Revêtement	- les sédiments pollués du port de Stamford ont été déposés dans le Long Island Sound et recouverts de sédiments propres provenant du port de New Haven; on a observé une certaine érosion des matériaux de revêtement attribuée aux courants causés par une forte tempête; l'évaluation de l'efficacité du revêtement est en cours
UPPER HUDSON RIVER (Fort Edward, NY) Accumulation de BPC dans les sédiments d'une rivière moyenne en zone rurale faisant partie du NY State Barge Canal System, attribuée au rejet prolongé d'eaux résiduaires industrielles	(Laisser-faire, drague à benne preneuse, drague rétrocaveuse, drague chargeuse, drague à désagrégateur, bassins de décantation, élimination en décharge spéciale, élimination terrestre sur place, coagulation/floculation, sorbants, revêtement, traitement chimique, traitement biologique, stabilisation/retenue)	- étude de faisabilité pour le nettoyage des sédiments pollués submergés et de la plaine inondable; revêtement et stabilisation des sédiments de la plaine inondable recommandés; on n'a pas jugé nécessaire de dresser des cartes plus détaillées de la pollution ni de procéder au nettoyage immédiat des sédiments submergés
PORT DE WAUKEGAN (Waukegan, IL) Accumulation de BPC dans les sédiments d'un port de plaisance sur la rive occidentale du lac Michigan, attribuée au rejet prolongé d'eaux résiduaires industrielles	(Laisser-faire, dérivation du cours d'eau, batardeaux, paroi d'étanchéité en boues-ciment, drague à benne preneuse, drague à benne traînante, drague rétrocaveuse, drague râcleuse, drague chargeuse, drague à désagrégateur, drague de type Dustpan, drague suceuse porteuse, dragues portatives, drague aspiratrice, drague Pneuma, drague Oozer, ensablement, bassins de décantation, barges de décantation, filtre-presse, enfouissement terrestre sur place, coagulation/floculation, filtres à sable, adsorption sur charbon actif, revêtement, fixation, traitement chimique, traitement biologique)	- étude de faisabilité exhaustive recommandant la retenue par barrière d'étanchéité en boues-ciment, le dragage et le revêtement, la fixation et l'élimination dans une décharge pour déchets chimiques; diverses options principales et secondaires ont été élaborées à partir de plus de 70 procédés
PORT DE PORPOISE (Prince Rupert, C.-B.) Déversement de BPC dans un égout pluvial débouchant dans le port	Récupération Retenue *in situ*	- adsorption des BPC déversés sur le sol avec de la sciure de bois; les sédiments de la baie ont été recouverts de déchets de bois, recouverts à leur tour de roches

* Les techniques mentionnées entre parenthèses ont été envisagées comme solutions de rechange.

TABLEAU 3 PRODUITS CHIMIQUES COULANTS SOLUBLES DANS L'EAU (tiré de Unterberg *et al.*, 1984)

Classe chimique	Mesures d'intervention applicables																				
	Confinement				Déplacement			Traitement													
	Digues, bermes, barrages	Tranchées	Barrages à jupe	Dérivation du cours d'eau	Dragage mécanique[1]	Pompage	Dispersion/dilution[2]	Charbon actif	Sorbants naturels inorganiques[3]	Sorbants synthétiques	Séparation gravitaire	Osmose inverse	Coagulation/floculation	Extraction	Chélation/séquestration	Échange d'ions - anionique	Échange d'ions - cationique	Neutralisation à l'acide[4]	Neutralisation a/base[5]	Oxydation	Précipitation[6]	Traitement biologique[7]
Acides, inorganiques	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X		X			X			
Acides, organiques	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X					X			X
Alcools et glycols	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X						X		X
Aldéhydes	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X						X		
Aliphatiques, halogénés	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X						X		X
Amides, onilides et imides	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X						X		
Amines, alkyles	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X								
Amines, aryles	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X								
Aromatiques	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X								X
Aromatiques, halogénés	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X								X
Cétones	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X								X
Chromates	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X		X	X				X	
Composés azo	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X								
Composés d'ammonium organiques	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X		X	X	X				
Composés nitro	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X								
Composés nitroso	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X								
Cyanates	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X			X					
Cyanures et nitriles	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X		X	X			X		X
Époxydes	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X								
Esters	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X		X						
Éthers	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X								
Halogénures, alkyles	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X								
Halogénures, inorganiques	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X				X	
Hydrazines et hydrazides	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X				X				
Métaux lourds	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	
Nitrates et nitriles	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X			X			X	X	
Nitromycine	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X								
Organométalliques	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X		X	X		X		X	
Organophosphates	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X					X			
Oxydes	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X							X	
Peroxydes	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X								
Phénols et crésols	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X			X	X		X
Phosphates et phosphonates	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X				X	X			
Phosphore et composés	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X			X		X			
Soudes caustiques	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X				X		X		
Streptozotocine	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X		X						
Sulfates	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X								
Sulfites	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X		X			X		X	
Sulfonés, sulfoxydes et sulfonates	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X		X	X			X		
Sulfures et mercaptans	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X		X						
Urées	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X		X				X		

[1] Ne convient que pour immobiliser des masses de particules.
[2] Abaissent la teneur en polluant sous les niveaux toxiques par augmentation du courant, brassage mécanique ou dispersants chimiques. Ne conviennent que pour de petits déversements en régions éloignées.
[3] Oxydes métalliques et sables glauconieux.
[4] Sauf les halogénures d'ammonium.
[5] Traitement avec du bicarbonate de sodium ou à la chaux recommandé.
[6] Traiter avec des sulfures en quantités stoechiométriques, sauf les chromates; traiter ces derniers au bisulfite.
[7] Potentiellement biodégradable.

TABLEAU 4 PRODUITS CHIMIQUES COULANTS INSOLUBLES DANS L'EAU (tiré de Unterberg et al., 1984)

Classe chimique	Mesures d'intervention applicables																			
	Confinement					Déplacement			Traitement											
	Barrages, bermes, digues	Tranchées	Barrages à jupe[1]	Dérivation du cours d'eau	Recouvrement a/ membrane synthétique	Dragage[2]	Pompage	Dispersion/dilution[3]	Charbon actif	Sorbants synthétiques	Milieux filtrants granul.	Séparation gravitaire	Coagulation/floculation	Échange d'ions - anionique	Échange d'ions - cationique	Neutralisation à l'acide[4]	Neutralisation a/base	Oxydation	Précipitation	Traitement biologique[7]
Acides, organiques	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X		
Aliphatiques, halogénés	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X								
Amiante	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X						X		
Amides, onilides et imides	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X						X		
Amines, alkyles	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X		
Amines, aryles	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X							X	
Aromatiques	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X			X					
Aromatiques, halogénés	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X						X		
Cétones	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
Chromates	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X			X	X		5		
Composés azo	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X			X	X	X	X		
Composés nitro	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X						X		
Composés nitroso	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X			X	X			X	
Cyanates	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X								
Cyanures et nitriles	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X								
Époxydes	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X								
Esters	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X		X	
Éthers	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			X	
Halogénures, alkyles	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
Halogénures, inorganiques	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X			X				X	
Métaux lourds	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X				X				
Oléfines	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X				X		X		
Organométalliques	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X					X	6		
Organophosphates	X	X	X			X	X	X			X	X						X		X
Oxydes	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X							
Peroxydes	X	X	X			X	X	X			X	X			X	X				
Phénols et crésols	X	X	X			X	X	X			X	X					X			
Phosphates et phosphonates	X	X	X			X	X	X	X		X	X				X				
Phosphore et composés	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X			X	X				
Soudes caustiques	X	X	X			X	X	X			X	X						X		
Strychnine et ses sels	X	X	X			X	X	X	X		X	X			X					
Sulfates	X	X	X			X	X	X			X	X								
Sulfures et mercaptans	X	X	X			X	X	X	X		X	X								
Sulfites	X	X	X			X	X	X			X	X								
Sulfonés, sulfoxydes et sulfonates	X	X	X			X	X	X			X	X								
Urées																				

1 À mettre en place pour le dragage.
2 Dragage mécanique des matières particulaires seulement.
3 Abaissent la teneur en polluant sous le seuil de toxicité par augmentation du débit et par brassage mécanique.
4 Utiliser des acides dilués et(ou) récupérables.
5 Hypochlorite de sodium ou de calcium.
6 Peroxyde d'hydrogène ou ozone.
7 Potentiellement biodégradable.

TABLEAU 5 DÉVERSEMENTS DE PRODUITS COULANTS: FACTEURS LIMITATIFS, EXIGENCES ET COÛTS DES MESURES D'INTERVENTION (RÉSUMÉ) (adapté de Unterberg *et al.*, 1984)

					Restrictions						Besoins							
Mesures de lutte	Mode	Étendue possible du nettoyage	État	Varie en fonction du temps écoulé (jours)	Vent	Précipitations	Température	Vitesse de l'eau	Conditions en surface	Accès difficile Irréalisable en zone peuplée	Équipement spécial	Électricité	Surveillance Élimination hors site/recyclage	Précautions spéciales	Main-d'oeuvre	Coûts ($)	Remarques
Barrage à jupe	IS	s/o	ND D	> 1	X			X	X		X				6 T	60 à 90/m	Courant max.: 1 noeud; hauteur d'eau max.: 7,6 m; haut max. des vagues: 2,3 m
Barrages, bermes, digues	IS	s/o	ND D	V	X			X	X	X	X					3/m^3	Ne conviennent qu'en zones calmes et en zones littorales
Tranchées	IS	s/o	ND D	V	X			X	X	X	X					3,80 à 11,5/m^3	Même remarque que ci-dessus
Dérivation du cours d'eau	IS	s/o	ND D	V		X		X		X	X	X					À condition que le débit soit faible
Enfouissement	IS	s/o	D	> 1	X			X	X	X	X		X			1,80/m^3 .	Ne convient pas pour les nappes de liquide. Les produits enfouis peuvent remonter à la surface
Recouvrement avec une membrane synthétique	IS	s/o	ND D	V	X			X	X	X	X					12 à 24/m^2	Le matériau doit être compatible avec la substance dangereuse. Applicable en eaux navigables seulement
Dispersion/dilution	IS	G	ND	V				X			X						Les intempéries et des eaux agitées accélèrent la dispersion
Dragage	IS	G	ND	> 1	X			X	X	X	X			X		1,95/m^3	Le périmètre de la zone touchée doit être connu
Pompage	IS	G	ND D	V	X			X	X	X	X	X		X			Hauteur d'aspiration max.: 9,8 m; à moins d'utiliser des pompes de suralimentation
Sorbants (naturels et synthétiques)	IS	G	ND	< 1	X			X	X	X				X			Doivent couler et être hydrophobes
Colonne adsorbante	SP	PM	D	> 1						X	X	X	X	X			L'adsorbant sera régénéré et(ou) éliminé
Gélifiants	IS	G	D ND	< 1	X			X	X	X				X		14,3/kg	
Séparation gravitaire	SP	G	ND	< 1						X	X	X	X	X	2T		Entre la précipitation ou la floculation et le polissage
Milieux granulaires	SP	G	ND	> 1							X	X	X	X			Entre la précipitation et le polissage
Osmose inverse	SP	P	D	> 1						X	X	X	X	X	2T		Filtration préalable recommandée
Neutralisation	IS	PM	ND D	< 1	X		X	X	X				X		X		Les neutralisants peuvent constituer une menace pour l'environnement
Neutralisation	SP	PM	ND	< 1						X	X	X	X		X		
Précipitation	IS	GP	D	< 1	X		X	X	X				X	X			Les précipitants peuvent être dangereux. Les précipités toxiques devraient être récupérés par dragage et éliminés
Précipitation	SP	GP	D	< 1						X	X	X	X	X	X		Les précipitants peuvent être dangereux
Coagulation/ floculation	SP	M	D	> 1/2						X	X	X	X	X			Suivies en général par la filtration ou la séparation gravitaire
Extraction au solvant	SP	M	D	< 1						X	X	X	X	X			Il est très important de choisir le solvant approprié
Oxydation	IS	PM	D	< 1	X			X	X					X			Les oxydants et(ou) les produits de la réaction peuvent être nocifs pour l'environnement. Ajustement du pH parfois requis
Oxydation	SP	PM	D	< 1						X	X	X	X	X			
Traitement biologique	IS	PM	D	> 1			X	X	X				X				Peut nécessiter des cultures spéciales. Risque d'introduction de germes pathogènes
Traitement biologique	SP	PM	D	> 1						X	X	X	X	X			Peut nécessiter des cultures spéciales

SP = sur place; IS = in situ; s/o = sans objet; ND = non dissous; D = dissous; V = variable; T = technicien.
Nettoyage: P = polissage complet; M = modéré; G = grossier; PM = polissage modéré; PG = polissage grossier.

2 LE DRAGAGE

Le dragage est la solution logique et probablement la seule qui permette de récupérer des matières dangereuses déversées ayant coulé au fond de l'eau. Il est rare cependant que le dragage seul permette de récupérer en totalité les produits chimiques déversés et on devrait recourir à d'autres mesures comme l'enfouissement ou le traitement chimique *in situ*. Celles-ci conviennent particulièrement pour les zones en périphérie de la zone touchée où les teneurs en polluants sont trop faibles pour justifier le dragage. Les dragues ne servent pas qu'à récupérer les polluants; elles sont utiles pour ériger des barrages comme des tranchées ou des digues afin de prévenir la dispersion des polluants. Le dragage devrait toujours faire partie des mesures de suivi s'il y a eu infiltration dans les sédiments ou utilisation d'adsorbants ou d'absorbants.

La mise au point des engins et des méthodes de dragage a visé avant tout à maximiser l'extraction des sédiments. Plus récemment, on s'est intéressé aux impacts écologiques du dragage. Le type d'équipement et de méthode utilisés pour des travaux de dragage donnés ont toujours été basés sur:

- la nature et la quantité de matériaux à excaver;
- les caractéristiques physiques et hydrologiques du site de dragage;
- la hauteur d'eau à cet endroit;
- les considérations relatives à l'élimination des résidus de dragage;
- la disponibilité des engins de dragage.

Les engins présentement utilisés et les méthodes de dragage doivent et sont actuellement modifiés pour permettre l'extraction des sédiments pollués. De nouveaux engins de dragage sont actuellement mis au point aux États-Unis et dans d'autres pays dans le but précis de réduire les effets du dragage sur l'environnement. En plus des facteurs énumérés plus haut, on doit tenir compte de ceux qui suivent lorsque les sédiments à excaver sont pollués:

- le secteur à draguer doit être déterminé et délimité avec précision;
- le déplacement latéral et vertical de la tête d'aspiration doit être réglé avec une grande précision;
- les précautions spéciales qui s'appliquent à un produit chimique donné doivent être observées;
- la remise en suspension des sédiments pollués (particulièrement les particules organiques et de la classe granulométrique de l'argile, dans lesquelles se retrouvent

la majorité des polluants) doit être réduite le plus possible voire carrément supprimée;

- les effets nocifs possibles pour les organismes aquatiques et benthiques doivent être déterminés;
- les matériaux excavés doivent être traités avant leur élimination (par confinement terrestre ou rejet en mer) et il y a lieu de prendre les dispositions pour leur entreposage temporaire, le transport et le traitement.

Nous ne possédons que très peu d'expérience pratique en ce qui a trait à ces problèmes étant donné la rareté des cas documentés de dragage de sédiments pollués (Wetzel *et al.*, 1984).

Avant 1970, alors que l'on ignorait presque tout des effets écologiques du dragage et de l'élimination des résidus de dragage, les règlements sur l'élimination étaient souvent trop sévères et improductifs. En 1973, le Congrès des États-Unis chargeait l'U.S. Army Corps of Engineers d'entreprendre un programme global de recherche afin d'élaborer des procédés pour évaluer les impacts écologiques de l'élimination des matériaux de dragage et de mettre au point de nouvelles méthodes ou d'améliorer celles existantes afin d'en minimiser les effets nocifs. De nombreuses études ont donc été faites aux États-Unis au cours des dix dernières années sur les conséquences du rejet des matériaux de dragage. En revanche, très peu de travaux ont porté sur les effets des opérations de dragage car on croyait que l'élimination avait des impacts beaucoup plus graves. Ce n'est que tout récemment que l'on a reconnu le besoin de mettre au point des procédés et des équipements visant à minimiser les effets dommageables des opérations de dragage. Dans le cadre de l'Improvement of Operational and Maintenance Techniques (IOMT) Research Program, l'U.S. Army Corps of Engineers a recueilli des données (nationales et internationales) sur la remise en suspension des sédiments et des polluants. Des études ont été conduites dans divers sites où de l'équipement non conventionnel était utilisé. L'objectif global était d'élaborer des directives pour le dragage de sédiments fortement pollués.

Le choix du type de drague à utiliser dans un cas de déversement donné dépend de nombreux facteurs, notamment: l'importance du déversement; l'emplacement (p. ex. une rivière, un port ou un lac); la profondeur du dragage; l'état d'agrégation du polluant (liquide ou solide); et les contraintes du milieu. Il est rare que le produit chimique déversé intervienne dans le choix du meilleur équipement possible, excepté si le produit déversé forme une masse compacte. On a observé que la densité du produit déversé influence sans conteste le taux de récupération.

La gestion du volume considérable de matériaux de dragage pose de nombreux problèmes. Les boues de dragage, dont la teneur en matières solides est généralement de l'ordre de 10 à 20 p. 100 en poids, nécessitent une déshydratation poussée et le surnageant doit subir un traitement chimique. La déshydratation des résidus de dragage se fait généralement sur le site en recourant à des techniques classiques de concentration des solides. Le traitement chimique du surnageant peut être fait à bord d'un système de traitement mobile. Hansen et Sanders (1981) indiquent que la méthode d'élimination des boues la plus répandue est la mise en dépôt dans une décharge contrôlée approuvée. Dans le cas de substances très toxiques, les boues doivent être placées dans des fûts, en observant les règles de sécurité applicables.

2.1 Types de dragues

Les dragues sont classées de diverses façons selon:

1) le mode d'extraction des matériaux (c.-à-d. mécanique ou hydraulique);
2) la méthode de stockage ou de mise en dépôt des matériaux de dragage (c.-à-d. par pipeline, déverseur latéral, trémie);
3) l'outillage d'excavation des sédiments (c.-à-d. désagrégateur, crépine);
4) le type de pompe (c.-à-d. centrifuge, pneumatique ou suceuse à air).

Il n'existe en général pas de modèle standard. Les dragues sont plutôt conçues pour des travaux précis. La classification utilisée dans le présent rapport est la suivante: dragues mécaniques, hydrauliques, pneumatiques et modèles spéciaux.

2.1.1 Dragues mécaniques. - Les dragues mécaniques comme les dragues à benne preneuse ou à mâchoires, à cuiller et à godets sont conçues pour les matériaux aussi bien durs que meubles et ne sont généralement pas automotrices. Elles retirent les sédiments du fond par application directe d'une force mécanique à la surface du fond et les matériaux dragués conservent pratiquement la densité qu'ils avaient, ce qui limite la quantité de matériaux à évacuer. Aucun dispositif n'étant prévu pour le confinement intégré des matériaux dragués, ils sont la plupart du temps déposés dans des barges qui les transportent jusqu'au site de mise en dépôt. Les dragues mécaniques peuvent être opérées et manoeuvrées dans des zones restreintes et confinées, et sont très utiles en présence d'obstacles et de débris.

Les dragues mécaniques n'ont cependant qu'un rendement modeste ($< 500\ m^3/h$) et elles requièrent des barges et autres engins pour l'évacuation et le transport des matériaux dragués. Elles provoquent une importante remise en suspension

des sédiments. Elles sont inefficaces pour les polluants liquides non adsorbés ou à l'état libre.

Dragues à benne preneuse ou à grappin à mâchoires. Ces dragues sont montées sur grue et sont utilisées pour extraire la plupart des matériaux à l'exception de la roche compacte (figure 1). Une partie des matériaux extraits retombe toutefois lors de la remontée du grappin. Les Japonais ont conçu un grappin fermé qui réduit la perte de matériaux fins mais il n'a pas encore été adopté en Amérique du Nord.

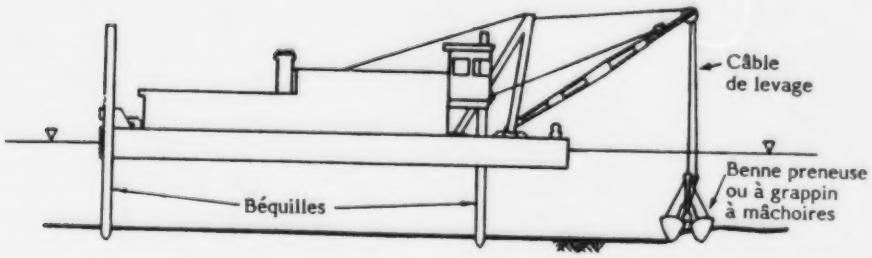


FIGURE 1 DRAGUE À BENNE PRENEUSE (Hand *et al.*, 1978)

La capacité des grappins à mâchoires varie de 0,75 à 9,0 m^3. Ces dragues opèrent à raison de 20 à 30 cycles par heure selon la hauteur d'eau et les caractéristiques du substrat. La profondeur pratique de travail n'est théoriquement limitée que par la longueur du câble de levage du grappin et la plupart des dragues de ce type permettent de travailler à plus de 30 m de profondeur. Elles sont fréquemment utilisées dans des zones confinées où il est essentiel de contrôler le positionnement du grappin et la profondeur de travail. On répertorie 52 dragues de ce type au Canada.

Dragues à cuiller. Les dragues à cuiller sont souvent utilisées pour l'extraction de roches brisées tendres et de dépôts sédimentaires denses immergés (figure 2). Elles peuvent fortement perturber les sédiments lors de l'excavation et il y a perte de matériaux fins lors de la remontée du godet. La capacité du godet varie de 0,75 à 12 m^3. Les dragues à cuiller fonctionnent à la cadence de 30 à 60 cycles par heure. La profondeur de dragage maximale est de 15 m.

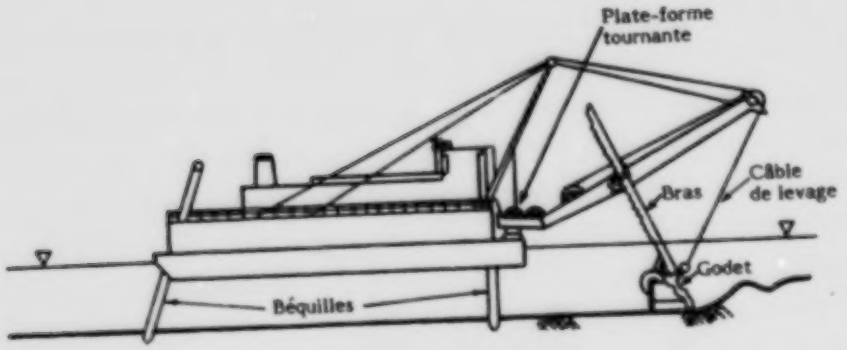


FIGURE 2 DRAGUE À CUILLER (Hand *et al.*, 1978)

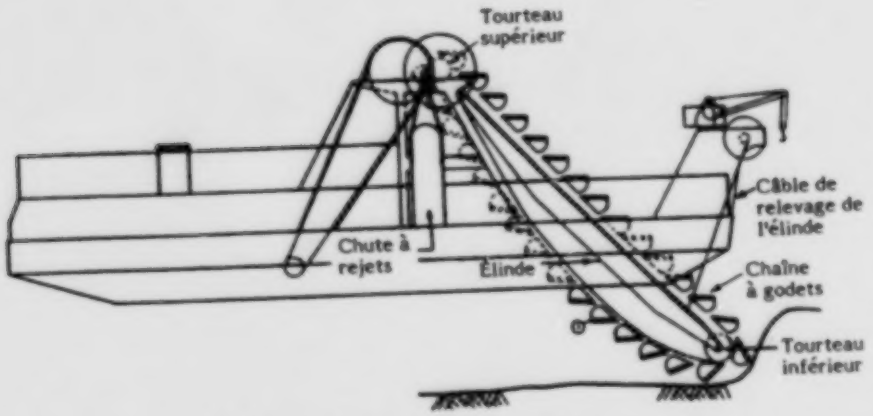


FIGURE 3 DRAGUE À GODETS (Hand *et al.*, 1978)

Dragues à godets. Ces dragues comprennent une chaîne à godets montée sur une élinde qui tourne autour de 2 tourteaux (figure 3). Les matériaux sont excavés lorsque les godets tournent autour du tourteau inférieur, sont remontés vers le tourteau supérieur d'où ils se déversent dans un puits à déblais. Comme avec toutes les autres dragues mécaniques, il y a perte considérable de matériaux fins.

2.1.2 **Dragues hydrauliques.** - Les dragues hydrauliques telles que les dragues suceuses, à crépine, à désagrégateur et à trémies, aspirent et refoulent les sédiments sous forme de boues liquides. Les plus grandes peuvent excaver jusqu'à 11 500 m^3 de matériaux à l'heure. Elles sont d'ordinaire montées sur des barges et équipées de pompes centrifuges commandées par moteur diesel ou électrique, avec tuyaux de refoulement de 15 à 122 cm de diamètre. Les boues liquides, contenant généralement 10 à 20 p. 100 de matières solides en poids, sont souvent évacuées à plusieurs kilomètres du site d'extraction par des

pipelines montés sur pontons. L'évacuation directe des déblais de dragage par pipelines jusqu'au site d'élimination minimise la manipulation des matériaux pollués et les risques d'exposition. Les autres méthodes utilisées pour l'évacuation des matériaux de dragage sont le déchargement latéral, le chargement dans des barges ou des chalands et le chargement dans les puits à déblais installés à bord.

L'utilisation de ces barges comporte certaines restrictions et exigences:

- les dragues suceuses montées sur barge ne peuvent être utilisées dans des eaux agitées;
- un volume considérable d'eau est aspiré avec les matériaux, ce qui nécessite une déshydratation poussée et le tassement des matériaux avant élimination;
- les grosses roches et autres obstacles immergés peuvent entraver l'action des crépines, désagrégateurs et élindes, et les endommager;
- leur fort tirant d'eau empêche de les utiliser en eaux peu profondes;
- les dragues suceuses à trémies ne peuvent fonctionner continuellement;
- lorsqu'on procède à l'excavation de sédiments pollués, on ne peut utiliser la pleine capacité des trémies en raison du risque de trop-plein d'eau polluée;
- avec les dragues à trémies, on ne peut travailler avec autant de précision qu'avec les autres types de dragues;
- il est impossible de rejeter les produits du dragage en eaux libres si les sédiments sont pollués.

Drague suceuse (ou aspiratrice). La drague suceuse (ou aspiratrice) opère par succion produite par une pompe centrifuge pour déloger, aspirer et transporter la boue aspirée (figure 4). Cette drague est très utile pour pomper des matériaux en suspension dans l'eau comme le sable ou des sédiments meubles. Elle n'est équipée d'aucun dispositif d'excavation et ne convient pas pour excaver des matériaux de fond durs ou cohésifs.

Les dragues suceuses ordinaires sont généralement utilisées pour l'extraction du sable, la remise en état des plages, des travaux de dragage d'entretien et le déchargement des chalands. Leur rendement est proportionnel au diamètre des élindes, à la puissance de la pompe et à la nature des matériaux dragués.

Drague à crépine. Il s'agit d'une drague suceuse hydraulique équipée d'une crépine évasée sur laquelle sont fixés des jets d'eau à forte pression (figure 5). Les jets ameublissent les sédiments qui sont ensuite aspirés par la crépine à mesure que la drague avance. Les jets sous pression permettent de draguer des sédiments cohésifs, mais ils produisent en revanche une remise en suspension considérable des sédiments dans la colonne d'eau.

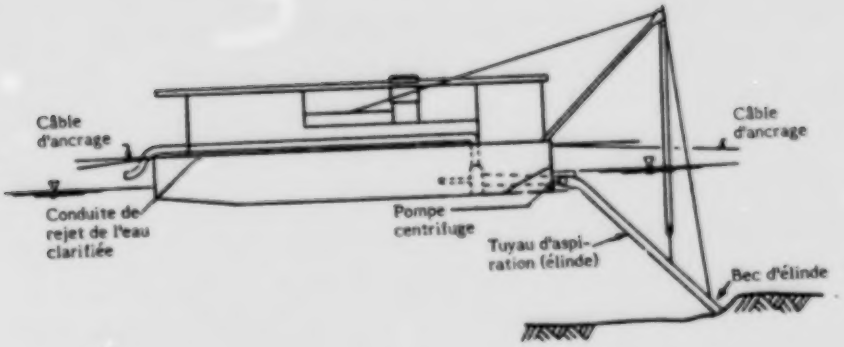


FIGURE 4 DRAGUE SUCEUSE ORDINAIRE (Hand *et al.*, 1978)

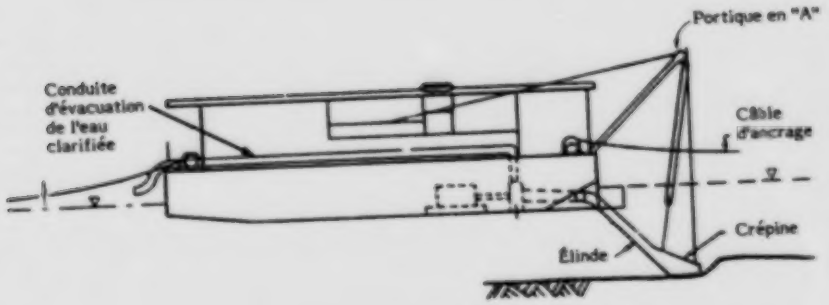


FIGURE 5 DRAGUE À CRÉPINE (Hand *et al.*, 1978)

Le diamètre des élindes varie de 0,6 à 1,2 m. Le rendement d'une drague à crépine munie d'élindes de 0,8 m est de 2676 m^3/h. La profondeur maximale de dragage est de 18 m.

Drague à désagrégateur. La caractéristique de cette drague est qu'elle est dotée d'un puissant appareil rotatif de dragage mécanique (désagrégateur) monté à l'embouchure de l'élinde (figure 6). Le désagrégateur concasse les matériaux durs et cohésifs en une boue liquide qui peut être transportée par une canalisation. Lorsque le désagrégateur est en position de repos, l'appareil opère comme une drague suceuse ordinaire. Le diamètre de l'élinde varie de 15 à 76 cm avec des rendements compris entre 19 et 1900 m^3/h. La profondeur de dragage varie respectivement de 3,6 à 15 m.

Drague suceuse porteuse. Ces dragues diffèrent des autres dragues suceuses par le fait qu'elles sont montées sur des navires océaniques autopropulsés et non sur des barges (figure 7). Les élindes sont suspendues par des bossoirs des deux côtés de la coque, et sont dirigées vers l'arrière du navire. En position de dragage, le bec d'élinde traîne sur

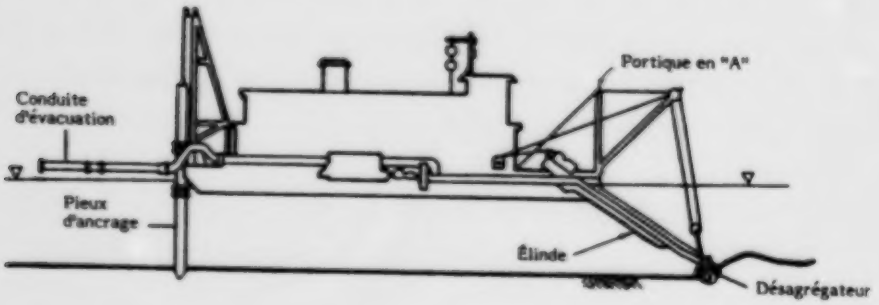


FIGURE 6 DRAGUE À DÉSAGRÉGATEUR (Hand *et al.*, 1978)

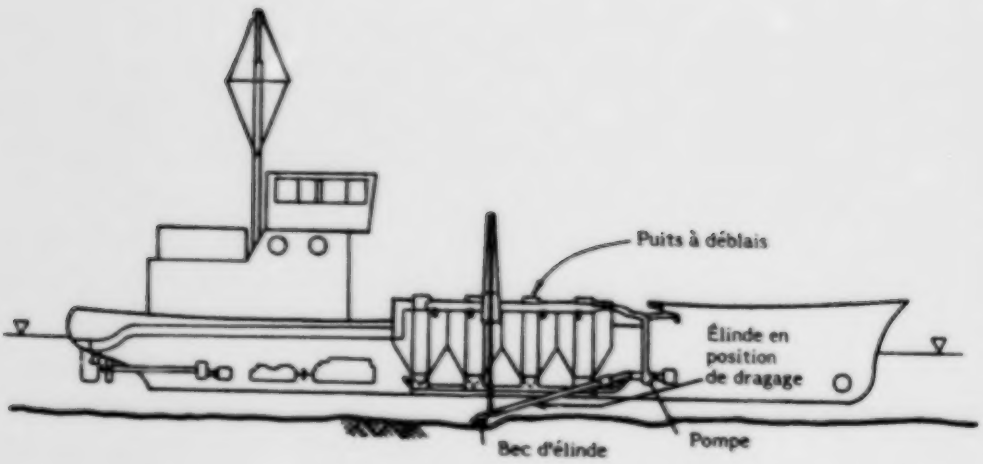


FIGURE 7 DRAGUE SUCEUSE PORTEUSE (Hand *et al.*, 1978)

le fond; pour le dragage, le navire ne doit pas se déplacer à plus de 13 km/h. Les matériaux sont aspirés par l'élinde et stockés dans les puits à déblais intégrés. Le surplus d'eau à forte teneur en matières en suspension (MeS) est rejeté en mer par des déversoirs, et les matériaux de dragage sont rejetés en eaux libres dans un autre site, sauf s'il s'agit de sédiments pollués. Dans ce cas, le trop-plein des puits à déblais ne doit pas être rejeté en mer et les matériaux pollués doivent être mis en dépôt dans un site d'élimination sécuritaire. Certaines dragues suceuses porteuses sont équipées d'un dispositif de déchargement intégré; dans certains cas, il faut utiliser un équipement auxiliaire.

Ces dragues sont les plus efficaces pour excaver des matériaux meubles, non cohésifs. C'est le seul type de drague qui peut opérer en mer houleuse, dans des courants relativement forts, en plein trafic maritime et par de mauvaises conditions atmosphériques.

Les boues liquides contiennent entre 10 et 20 p. 100 de MeS. Le tirant d'eau du navire varie de 3,6 à 9,5 m et le rendement de dragage est compris entre 380 et 1530 m^3/h. La profondeur de dragage minimale est de 3 à 8,5 m, la profondeur maximale, de 20 m.

2.1.3 Dragues pneumatiques. - Il s'agit de systèmes à élinde hydraulique équipés d'une pompe à air comprimé (figure 8). La drague "Pneuma", de conception italienne, est constituée d'une pompe pneumatique suspendue à des câbles actionnés par une grue

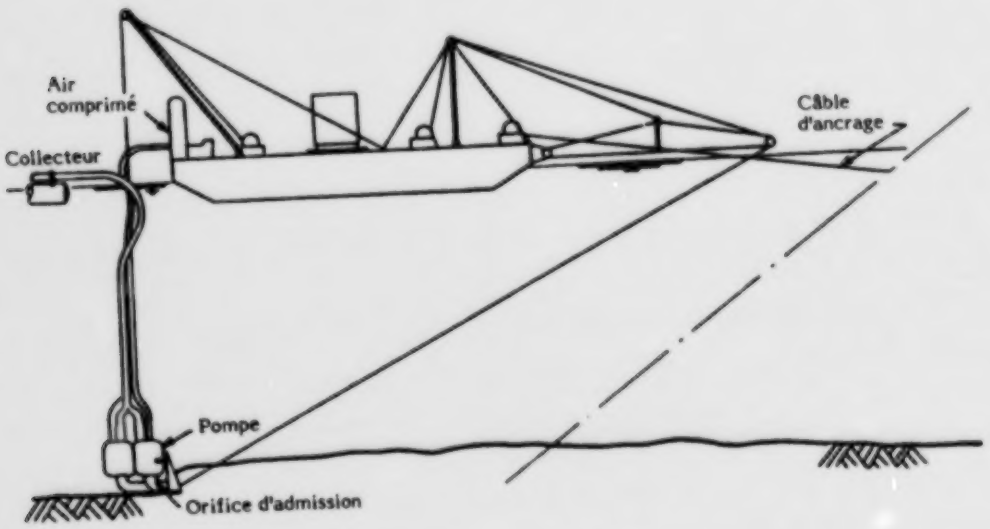


FIGURE 8 DRAGUE PNEUMA (Hand *et al.*, 1978)

montée sur barge. La pompe comprend trois cylindres qui sont remplis successivement par pression hydrostatique. Lorsque les trois sont pleins, ils sont vidés tour à tour en fermant l'orifice d'admission et en forçant l'évacuation du contenu dans un collecteur commun par application d'air comprimé. Le principal avantage est qu'il n'est pas nécessaire que les sédiments soient sous forme de boues liquides. On minimise ainsi les problèmes de turbidité et de manutention des matériaux.

Théoriquement, il n'y a pas de profondeur limite de dragage avec la pompe pneumatique et comme elle est montée sur grue, elle est utile dans des ouvrages portuaires et dans leur voisinage. Cependant, les câbles et les canalisations peuvent temporairement obstruer les chenaux, et le rendement est modeste (46 à 300 m^3/h). Bien que le système soit encombrant, il se compose d'éléments démontables, transportables par route ou par air.

2.1.4 Dragues de conception spéciale

Dispositifs à main. Les dispositifs à main, opérés par un plongeur, avec pompe et réservoir de stockage à bord d'une barge, d'un bateau ou d'un camion à terre, sont idéals pour le dragage de précision de masses intactes de polluants solides ou liquides. Un mois après un déversement de BPC dans la rivière Duwamish, des scaphandriers ont récupéré 30 p. 100 de la quantité déversée en draguant la vase jusqu'à une profondeur de 0,5 m (Hand *et al.*, 1978). Voici les principaux avantages de ces dispositifs: *1*) ils sont très mobiles et extrêmement répandus; *2*) le nettoyage peut être effectué avec une très grande précision; et *3*) ils sont particulièrement efficaces pour aspirer des masses identifiables de polluants à l'état pur, particulièrement les liquides et les produits à l'état libre. Leur principal inconvénient est le risque d'exposition des scaphandriers aux polluants. Le gouvernement américain a étudié avec beaucoup d'attention la sécurité des plongeurs là où il y a eu déversement de matières dangereuses.

Les dispositifs à main n'ont qu'un faible rendement (environ 10,6 m^3/h) mais peuvent en revanche être utilisés jusqu'à 31 m de profondeur et provoquent peu de turbidité. Les boues liquides pompées contiennent généralement entre 5 et 10 p. 100 de solides, en poids.

Drague Oozer. La drague Oozer, fabriquée au Japon par Toyo Construction Co., Ltd., est une drague pneumatique conçue spécialement pour le dragage des sédiments pollués (figures 9 à 11). Elle permet d'obtenir un rapport élevé solides/eau dans les boues liquides (jusqu'à 80 p. 100 des solides présents) avec une très faible remise en suspension des sédiments; elle s'avère donc particulièrement intéressante pour les sédiments pollués.

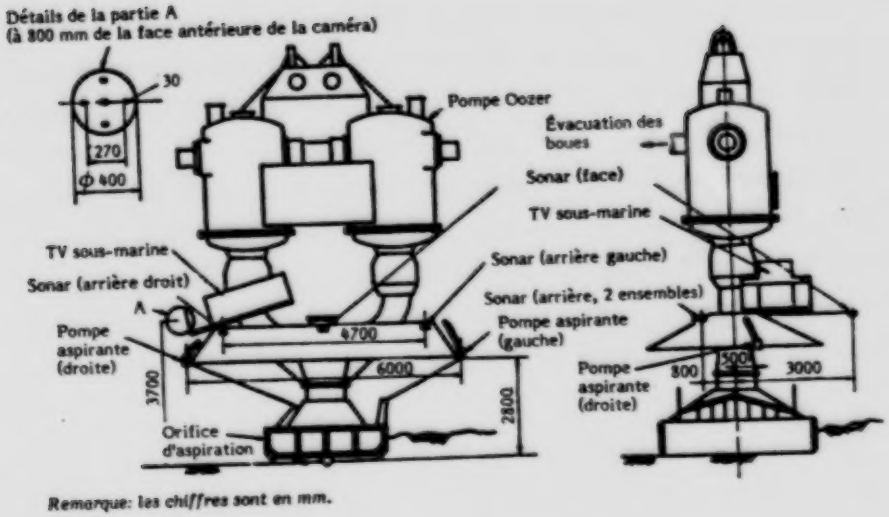


FIGURE 9 SYSTÈME DE DRAGAGE OOZER (Koba et Shiba, 1981)

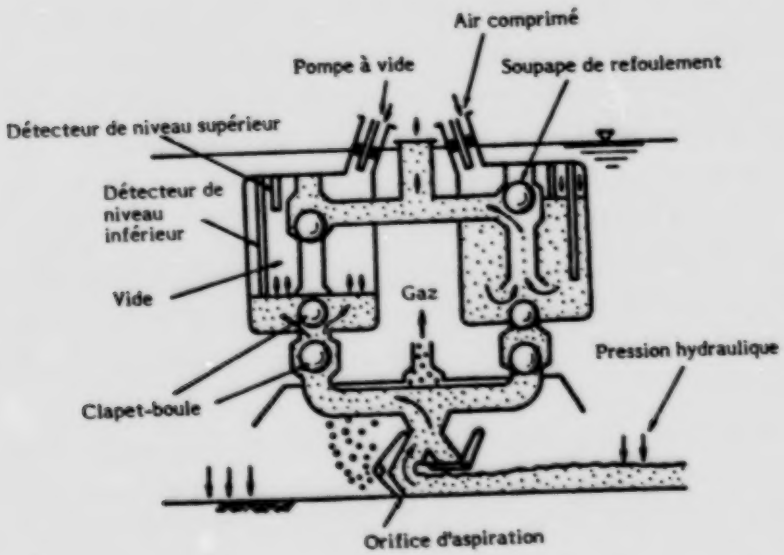


FIGURE 10 FONCTIONNEMENT DE LA POMPE OOZER (Koba et Shiba, 1981)

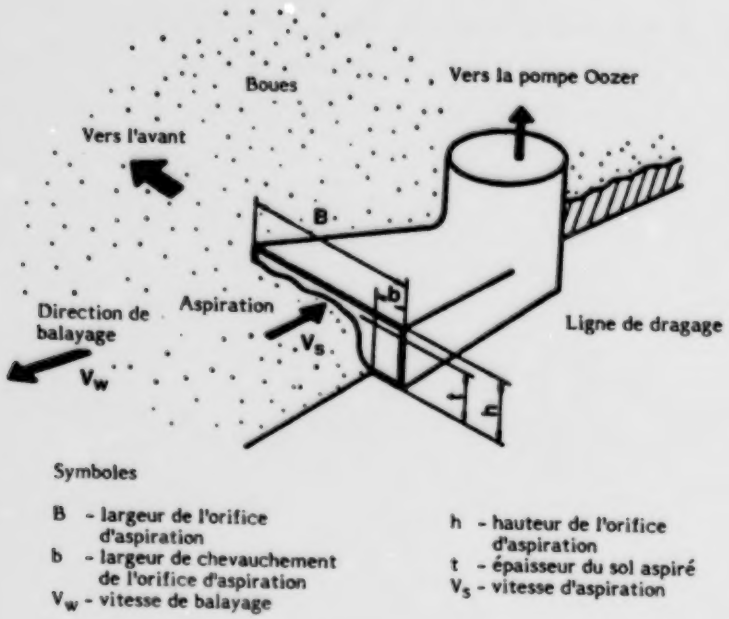


FIGURE 11 DÉTAIL DE L'ORIFICE D'ASPIRATION D'UNE POMPE OOZER SANS DÉSAGRÉGATEUR (Koba et Shiba, 1981)

Des expériences avec cette drague ont montré qu'il faut toujours extraire une épaisseur de sédiments de 20 p. 100 supérieure à l'épaisseur définie. Un mécanisme qui maintient l'orifice d'aspiration parallèle au fond de l'eau améliore la précision du dragage (voir détail à la figure 11).

La drague Oozer a un rendement variant de 350 à 500 m^3/h et la profondeur maximale de dragage est de 46 m.

Système Refresher. Produit par Penta Ocean Construction du Japon, le système Refresher est une drague suceuse classique à désagrégateur modifiée pour le nettoyage des sédiments toxiques de manière à prévenir la formation et la dispersion de la turbidité et permettre l'extraction de la totalité des sédiments benthiques. La turbidité peut être surveillée par une caméra de télévision sous-marine et mesurée par un turbidimètre.

Le rendement du système Refresher est de 150 à 1000 m^3/h et les boues extraites contiennent entre 30 à 40 p. 100 (en poids) de solides. La profondeur de dragage est comprise entre 6 et 18 m.

Le Mudcat. Le Mudcat est une drague hydraulique portative conçue et mise au point par l'U.S. National Car Rental Agency (figure 12). Elle est montée sur des

pontons et munie d'un désagrégateur en forme de tarière qui achemine la boue liquide vers une pompe centrifuge. L'embarcation n'est pas autopropulsée; elle se déplace le long d'un câble d'ancrage; les déblais de dragage sont évacués par une canalisation montée sur flotteurs.

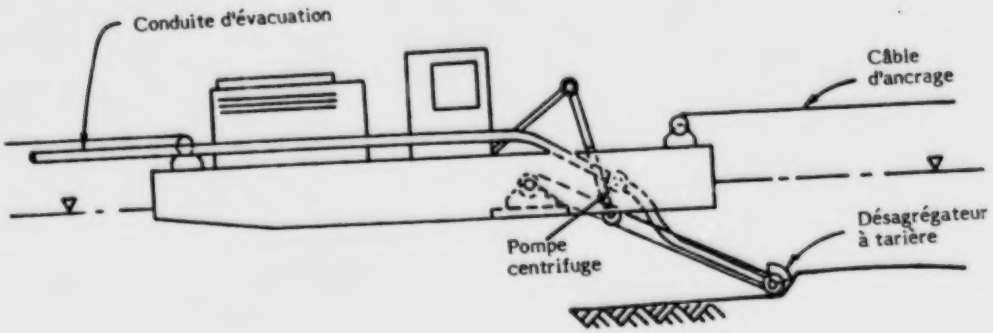


FIGURE 12 LA DRAGUE MUDCAT (Hand *et al.*, 1978)

Le Mudcat a été utilisé à plusieurs reprises pour l'enlèvement de sédiments pollués et a été étudié par l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) (Nawrocki, 1976). Cet auteur considère que le Mudcat est efficace pour retirer des matières particulaires du fond des bassins. Il mentionne que le Mudcat est plus efficace en marche arrière qu'en marche avant. En marche arrière, le garde-boue recouvre complètement la tarière, ce qui réduit la turbidité au minimum. Nawrocki (1976) a également constaté que la densité de la substance déversée influe sur le rendement de récupération; plus la densité augmente, meilleur est le rendement et moins grande la remise en suspension des polluants.

En raison de sa taille et de son rendement maximum de 92 m^3/h, le Mudcat ne convient que pour de petits travaux et des profondeurs maximales de 6,1 m. Son principal avantage est sa petite taille, ce qui facilite le transport par camion ou par aéronef pour des travaux dans des endroits confinés et éloignés.

2.2 Évaluation d'un système de dragage

Les caractéristiques opérationnelles, les capacités et les limitations importantes des dragues dont il vient d'être question sont résumées au tableau 6. La plage étendue

TABLEAU 6 RÉSUMÉ DES CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES DES DRAGUES (tiré de Hand *et al.*, 1978; Phillips et Malek, 1984)

Type de drague	% de solides dans les boues liquides, en poids[a]	Turbidité créée	Opérable en eaux libres	État liquide ou solide	Tirant d'eau du navire (m)	Rendement (m^3/h)	Profondeur minimale de dragage (m)	Profondeur maximale de dragage (m)	Hauteur des vagues (m)	Précision latérale maxim.[i] (m)	Précision verticale (m)	Coûts[j] ($/$m^3$)
À cuiller	Inchangé	Forte	Oui[b]	Solide	c	23 à 460	0[d]	15	0,98	0,15	0,6	2,10
À mâchoires ou à godets	Inchangé	Forte	Oui[b]	Solide	c	23 à 460	0[d]	46[e]	0,98,[h]	0,3	0,6	2,10
Suceuse	10 à 15 %	Faible	Oui[b]	Les deux	1,5 à 1,8	19 à 7645	1,5 à 1,8	15 à 18[f]	0,9	0,6 à 0,9	0,3	1,95
À crépine	10 à 20 %	Moyenne	Non	Les deux	1,5 à 4,3	19 à 7645	1,5 à 4,3	15 à 18[f]	0,9	0,6 à 0,9	0,15	1,95
À désagrégateur	10 à 20 %	Moyenne	Oui[b]	Les deux	0,9 à 4,3	19 à 7645	0,9 à 4,3	3,6 à 20[f]	0,9	0,6 à 0,9	0,3	1,95
Porteuse	10 à 20 %	Moyenne	Oui	Les deux	3,6 à 9,4	382 à 1530	3,0 à 8,5	20[f]	2,1	3,0	0,6	1,80
Pneuma	Jusqu'à 80 % des solides en place	Faible	Oui[b]	Les deux	c	46 à 300	0[d]	46,0	0,98,[h]	0,15	0,3	1,40 à 4,00
Pompe à vide manuelle	5 à 10 %	Faible	Oui	Les deux	c	7,6	0[d]	30,5	0,98,[h]	0,15	-	-
Oozer	Jusqu'à 80 % des solides en place	Faible	Oui	Les deux	-	344 à 500	-	31 à 46	-	0,6 à 0,9	0,3	-
Refresher	30 à 40 %	Faible	Oui	Les deux	0,9 à 4,3	150 à 995	6,1	18,3	0,9	0,6 à 0,9	0,3	2,70
Mudcat	10 à 40 %	Faible	Non	Les deux	0,5	46 à 115	0,5	4,6	0,3	0,15	0,15	1,95

-: Informations impossibles à obtenir.

[a] Le pourcentage des solides pourrait être théoriquement égal à zéro, mais ces valeurs représentent les plages normales.

[b] Utilisation restreinte possible en eaux libres selon les dimensions et le type de coque et la hauteur des vagues.

[c] Dépend de la structure flottante; environ 1,5 à 1,8 m si l'engin est monté sur barge.

[d] Zéro si la drague est actionnée du bord d'un cours d'eau; sinon, c'est le tirant d'eau du navire qui est déterminant.

[e] Profondeur démontrée; théoriquement, la profondeur de dragage pourrait être bien supérieure.

[f] Avec des pompes de dragage submergées, les profondeurs de dragage ont été portées à 30 m ou plus.

[g] Dépend du navire porteur - généralement monté sur barge.

[h] La hauteur des vagues n'a théoriquement aucun effet; l'équipement d'excavation n'est pas rigide.

[i] La précision verticale du dragage est généralement de l'ordre de 0,3 m.

[j] Coûts représentatifs de Commencement Bay (site du Superfund de l'EPA des États-Unis, État de Washington) pour les dragues à désagrégateur, à godets et à trémies; les valeurs pour les autres dragues sont calculées par rapport à l'équipement conventionnel et peuvent aller du double à la moitié des coûts.

Remarque: La documentation suppose que les courants gênent les opérations mais les vitesses maximales de courant n'ont pas encore été établies; la plupart des dragues devraient normalement tolérer des courants variant entre 3 et 5 noeuds, jusqu'à 7 noeuds dans le cas des dragues à trémies.

des valeurs données pour certains paramètres indique que le choix est vaste. Le tableau 6 est un outil précieux pour faire une évaluation rapide de l'adaptabilité d'une drague à un cas de déversement donné. Il devrait être utilisé conjointement avec les grilles d'évaluation des dragues présentées aux tableaux 7 à 10.

Hand *et al.* (1978) ont évalué le potentiel global de récupération des matières dangereuses pour chaque type fondamental de drague et pour quatre sortes de cadre écologique:

- *À terre et dans des eaux non navigables*: Notamment les plages exondées, les fossés de drainage des routes et des voies ferrées ainsi que les ruisseaux, les rivières et les cours d'eau fermés au trafic des barges commerciales.
- *Les cours d'eau*: Dans ce cadre sont regroupés les cours d'eau navigables, les canaux et autres voies d'eau servant au transport régulier du fret.
- *Les ports*: Regroupent la plupart des ports à marée et sans marée, y compris les zones d'eaux calmes avec trafic maritime intense et de nombreux ouvrages artificiels.
- *Les eaux libres*: C'est-à-dire les baies, les détroits, les estuaires, les grands lacs, les eaux océaniques côtières, la haute mer et autres plans d'eau à l'écart du trafic intense et des installations portuaires.

Une matrice a été préparée pour chaque cadre écologique. Une cote de 0 (la pire) à 10 (la meilleure) a été attribuée à chaque type de drague considéré et chacun des critères retenus dans la matrice. Une moyenne pondérée a été ensuite calculée pour chaque drague et chaque scénario de déversement. Les grilles d'évaluation des dragues ne tiennent pas compte de l'influence possible des considérations propres aux produits chimiques ni des problèmes du transport, du traitement et de l'élimination des résidus de dragage.

Voici les critères de cotation individuels des grilles d'évaluation:

Compatibilité avec le volume de matériaux à draguer: La considération première a été le volume total de sédiments benthiques pollués à retirer et non le volume de matières déversées. Il est indispensable d'évaluer la quantité de matériaux à excaver pour choisir le type de drague le mieux adapté. La drague choisie doit avoir un rendement suffisant mais non supérieur aux besoins pour être efficiente.

Teneur en solides: La teneur en solides désigne la quantité relative de solides décantables dans une mixture de sédiments et d'eau. Selon la nature des sédiments, un type de drague produira des boues plus denses qu'un autre, d'où réduction de la quantité de matériaux à manutentionner et la quantité d'eau à traiter. La cote la plus élevée est attribuée aux dragues capables de produire les matériaux les plus denses.

TABLEAU 7 SCÉNARIO DE DÉVERSEMENT SUR TERRE ET DANS DES EAUX NON NAVIGABLES

Type de drague	Compatibilité avec le chantier de dragage*			Teneur en solides	Remise en suspension des sédiments et polluants	Débris et obstacles	Temps de préparation et de transport	Potentiel global			Remarques
	Petit	Moyen	Gros					Petit cubage	Cubage moyen	Gros cubage	
Facteur de pondération	5	5	5	1	2	1	2	s/o	s/o	s/o	s/o
Mécaniques	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o
À cuiller			(lieux habituellement inaccessibles avec ce genre d'engins)								
À mâchoires											
Hydrauliques	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o
À désagrégateur (et aspiratrice ordinaire)			(lieux habituellement inaccessibles avec ce genre d'engins)								
À crépine											
À trémies											
Pneumatiques	6	8	6	7	7	7	3	5,8	6,7	5,8	a,b,c
Autres											
Mudcat	9	7	2	6	6	4	7	7,4	6,5	4,2	
Pompe à vide manuelle	5	3	0	2	9	8	8	6,3	5,4	4,0	a,d
Chargeuse opérant sur terre	9	9	9	10	2	8	9	7,7	7,7	7,7	e

* = petit = < 764,6 m^3; moyen = 764,6 à 152 911 m^3; gros = > 152 911 m^3.

s/o = sans objet.

[a] L'aspiration ordinaire est efficace en autant qu'il s'agisse de sédiments meubles, par exemple sable, limon non consolidé, sédiments argileux ou organiques, ou encore de liquides.

[b] Une variété de têtes aspirantes, comme les tarières et les désagrégateurs, peuvent s'adapter aux systèmes pneumatiques qui fonctionnent normalement en mode d'aspiration ordinaire.

[c] L'équipement peut être stationné à terre ou manoeuvré à partir du rivage.

[d] Les pompes à vide manuelles conviennent rarement comme dispositifs de première intervention vu leur rendement extrêmement faible. Ces dispositifs sont probablement plus utiles pour parfaire le nettoyage et pour le nettoyage des zones à la périphérie de petits déversements non dispersés et bien délimités ainsi que pour le nettoyage des enceintes fermées.

[e] Y compris des engins tels que pelles rétrocaveuses, chargeurs frontaux, bulldozers, pelles à benne traînante et pelles de diverses dimensions allant des pelles montées sur petits tracteurs d'exploitation agricole aux grands équipements miniers sous-marins.

Remarques: Les cotes attribuées ne doivent pas être considérées comme mesure absolue de la valeur d'une drague.

TABLEAU 8 SCÉNARIO DE DÉVERSEMENT DANS UN COURS D'EAU

Type de drague	Compatibilité avec le chantier de dragage*			Teneur en solides	Remise en suspension des sédiments et polluants	Restrictions dues à la profondeur de dragage	Restrictions dues au tirant d'eau du navire	Débris et obstacles	Obstruction au trafic maritime	Tenue dans les courants	Temps de préparation et de transport	Potentiel global			Remarques
	Petit	Moyen	Gros									Petit cubage	Cubage moyen	Gros cubage	
Facteur de pondération	6	6	6	1	3	1	2	2	1	1	2	s/o	s/o	s/o	s/o
Mécaniques															
À cuiller	7	5	1	10	1	4	8	7	7	6	4	5,8	5,2	3,9	a,b,g
À mâchoires	8	6	2	10	1	10	8	9	7	6	4	6,6	6,0	4,7	a,b,g
Hydrauliques															
À désagrégateur (et aspiratrice ordinaire)	3	7	9	5	5	6	7	3	3	7	2	4,1	5,4	6,0	c,e,f
À crépine	3	7	8	5	5	6	7	3	3	7	2	4,1	5,4	5,7	f
À trémies	3	7	7	5	5	6	2	1	9	9	4	4,0	5,3	5,3	f
Pneumatiques	6	7	4	7	7	10	7	9	3	6	5	6,6	6,9	5,9	c,d,g
Autres															
Mudcat	9	5	2	6	6	3	9	4	5	4	8	7,0	5,7	4,7	i
Pompe à vide manuelle	5	1	0	2	9	6	10	10	6	1	9	6,8	5,6	5,3	c,h

* = petit = < 764,6 m^3; moyen = 764,6 à 152 911 m^3; gros = > 152 911 m^3.

s/o = sans objet.

a Polluant à l'état solide seulement ou lorsqu'il est établi que les sédiments ont été pollués par un produit à l'état liquide.

b Les équipements strictement mécaniques sont relativement inefficaces sur des roches dures ou des concrétions d'argile.

c L'aspiration ordinaire est efficace en autant qu'il s'agisse de sédiments meubles, par exemple sable, limon non consolidé, sédiments argileux ou organiques, ou encore de liquides.

d Une variété de têtes aspirantes, comme les tarières et les désagrégateurs, peuvent s'adapter aux systèmes pneumatiques qui fonctionnent normalement en mode d'aspiration ordinaire.

e Les désagrégateurs doivent être en position de repos lorsque les travaux se font sur un fond rocheux ou une croûte concrétionnée afin de ne pas disperser les polluants ni endommager l'équipement de dragage.

f Les profondeurs de dragage peuvent être augmentées par l'ajout de pompes à relais.

g L'équipement peut être stationné à terre ou manoeuvré à partir du rivage.

h Les pompes à vide manuelles conviennent rarement comme dispositifs de première intervention vu leur rendement extrêmement faible. Ces dispositifs sont probablement plus utiles pour parfaire le nettoyage et pour le nettoyage des zones à la périphérie de petits déversements bien circonscrits et délimités ainsi que dans des enceintes fermées.

i Le Mudcat ne peut être utilisé en eaux libres en raison des trop grandes profondeurs et de la hauteur des vagues; il est en revanche très efficace dans les petits cours d'eau non navigables.

Remarques: Les cotes attribuées ne doivent pas être considérées comme mesure absolue de la valeur d'une drague.

TABLEAU 9 SCÉNARIO DE DÉVERSEMENT DANS UN PORT

Type de drague	Compatibilité avec le chantier de dragage*			Teneur en solides	Remise en suspension des sédiments et polluants	Restrictions dues à la profondeur de dragage	Restrictions dues au tirant d'eau du navire	Débris et obstacles	Obstruction au trafic maritime	Temps de préparation et de transport	Potentiel global			Remarques
	Petit	Moyen	Gros								Petit cubage	Cubage moyen	Gros cubage	
Facteur de pondération	5	5	5	1	1	1	1	2	1	1	s/o	s/o	s/o	s/o
Mécaniques														
À cuiller	7	5	1	10	1	4	9	7	8	5	6,6	5,9	4,3	a,b,g
À mâchoires	8	6	1	10	1	10	9	9	8	5	7,8	7,0	5,1	a,b,g
Hydrauliques														
À désagrégateur (et aspiratrice ordinaire)	3	7	9	5	5	6	8	3	4	3	4,0	5,5	6,3	c,e,f
À crépine	3	7	8	5	5	6	8	3	4	3	4,0	5,5	5,9	f
À trémies	3	7	7	5	5	6	5	1	9	4	3,9	5,5	5,5	f
Pneumatiques	6	7	4	7	7	10	8	9	4	5	6,9	7,2	6,1	c,d,g
Autres														
Mudcat	9	5	2	6	6	1	9	4	5	8	6,8	5,2	4,1	i
Pompe à vide manuelle	5	1	0	2	9	6	10	10	7	9	6,8	5,2	4,9	c,h

* = petit = < 764,6 m^3; moyen = 764,6 à 152 911 m^3; gros = > 152 911 m^3.

s/o = sans objet.

[a] Polluant à l'état solide seulement ou lorsqu'il est établi que les sédiments ont été pollués par un produit à l'état liquide.

[b] Les équipements strictement mécaniques sont relativement inefficaces sur des roches dures ou des concrétions d'argile.

[c] L'aspiration ordinaire est efficace en autant qu'il s'agisse de sédiments meubles, par exemple sable, limon non consolidé, sédiments argileux ou organiques, ou encore de liquides.

[d] Une variété de têtes aspirantes, comme les tarières et les désagrégateurs, peuvent s'adapter aux systèmes pneumatiques qui fonctionnent normalement en mode d'aspiration ordinaire.

[e] Les désagrégateurs doivent être en position de repos lorsque les travaux se font sur un fond rocheux ou une croûte concrétionnée afin de ne pas disperser les polluants ni endommager l'équipement de dragage.

[f] Les profondeurs de dragage peuvent être augmentées par l'ajout de pompes à relais.

[g] L'équipement peut être stationné à terre ou manoeuvré à partir du rivage.

[h] Les pompes à vide manuelles conviennent rarement comme dispositifs de première intervention vu leur rendement extrêmement faible. Ces dispositifs sont probablement plus utiles pour parfaire le nettoyage et pour le nettoyage des zones à la périphérie de petits déversements bien circonscrits et délimités ainsi que dans des enceintes fermées.

[i] Le Mudcat ne peut être utilisé en eaux libres en raison des trop grandes profondeurs et de la hauteur des vagues; il est en revanche très efficace dans les petits cours d'eau non navigables.

Remarques: Les cotes attribuées ne doivent pas être considérées comme mesure absolue de la valeur d'une drague.

TABLEAU 10 SCÉNARIO DE DÉVERSEMENT EN EAUX LIBRES

Type de drague	Compatibilité avec le chantier de dragage*			Teneur en solides	Remise en suspension des sédiments et polluants	Restrictions dues à la profondeur de dragage	Obstruction au trafic maritime	Hauteur des vagues	Temps de préparation et de transport	Potentiel global			Remarques
	Petit	Moyen	Gros							Petit cubage	Cubage moyen	Gros cubage	
Facteur de pondération	8	8	8	1	1	4	1	4	1	s/o	s/o	s/o	s/o
Mécaniques													
À cuiller	7	5	1	10	1	9	4	9	4	5,4	4,6	3,0	a,b
À mâchoires	8	6	1	10	1	10	4	5	4	7,2	6,4	4,4	a,b
Hydrauliques													
À désagrégateur (et aspiratrice ordinaire)	3	7	9	5	5	6	4	4	3	4,1	5,7	6,5	c,e,f,i
À crépine	3	7	8	5	5	6	4	4	3	4,1	5,7	6,1	f
À trémies	3	7	7	5	5	6	9	10	6	5,7	7,3	7,3	f,i
Pneumatiques	6	7	4	7	7	10	4	5	5	6,6	7,0	5,8	c,d
Autres													
Mudcat	9	5	2	6	6	1	4	1	8	5,2	3,6	2,4	c,g
Pompe à vide manuelle	5	1	0	2	9	6	7	8	9	6,2	4,6	4,2	c,g

* « petit » = < 764,6 m^3; moyen = 764,6 à 152 911 m^3; gros = > 152 911 m^3.

s/o = sans objet.

[a] Polluant à l'état solide seulement ou lorsqu'il est établi que les sédiments ont été pollués par un produit à l'état liquide.

[b] Les équipements strictement mécaniques sont relativement inefficaces sur des roches dures ou des concrétions d'argile.

[c] L'aspiration ordinaire est efficace en autant qu'il s'agisse de sédiments meubles, par exemple sable, limon non consolidé, sédiments argileux ou organiques, ou encore de liquides.

[d] Une variété de têtes aspirantes, comme les tarières et les désagrégateurs, peuvent s'adapter aux systèmes pneumatiques qui fonctionnent normalement en mode d'aspiration ordinaire.

[e] Les désagrégateurs doivent être en position de repos lorsque les travaux se font sur un fond rocheux ou une croûte concrétionnée afin de ne pas disperser les polluants ni endommager l'équipement de dragage.

[f] Les profondeurs de dragage peuvent être augmentées par l'ajout de pompes à relais.

[g] Les pompes à vide manuelles conviennent rarement comme dispositifs de première intervention vu leur rendement extrêmement faible. Ces dispositifs sont probablement plus utiles pour parfaire le nettoyage et pour le nettoyage des zones en périphérie de petits déversements bien circonscrits et délimités ainsi que dans des enceintes fermées.

[h] Le Mudcat ne peut être utilisé en eaux libres en raison des trop grandes profondeurs et de la hauteur des vagues; il est en revanche très efficace dans les petits cours d'eau non navigables.

[i] Des compensateurs de houle peuvent améliorer le rendement de ce type d'engin dans de hautes vagues.

Remarques: Les cotes attribuées ne doivent pas être considérées comme mesure absolue de la valeur d'une drague.

Remise en suspension des sédiments et des polluants: Les cotes sont basées sur des observations qualitatives et des comparaisons relatives entre les divers types de dragues. L'importance accordée à ce critère dépend de l'importance accordée à la remise en suspension des matières dangereuses.

Restrictions dues à la profondeur de dragage: Sur le site d'un déversement, la hauteur d'eau détermine si l'on peut ou non utiliser une drague donnée. Pour la cote générale, ce critère prend une plus grande importance lorsque la hauteur d'eau peut exclure l'utilisation d'un ou de plusieurs types de dragues.

Restrictions dues au tirant d'eau du navire: Il arrive que les eaux dans lesquelles on doit faire des opérations de dragage soient trop peu profondes pour permettre l'utilisation d'une drague embarquée. Ce critère est pondéré en fonction de son importance dans un cadre écologique donné.

Débris et obstacles: Ce critère considère si les débris et les structures artificielles peuvent entraver le fonctionnement des divers types de dragues. Chaque drague est cotée en fonction de son aptitude à travailler normalement autour ou au milieu d'obstacles.

Obstruction au trafic: On suppose que dans le cas d'une récupération de matières déversées, il faudrait arrêter temporairement le trafic maritime; certains types de dragues sont cependant plus encombrants que d'autres, et il en a été tenu compte dans la cote globale.

Hauteur des vagues: La hauteur des vagues est un facteur limitant important lors de déversement en eaux libres et on a par conséquent attribué un facteur de pondération élevé à ce critère.

Restrictions dues aux courants: Nous ne possédons pas d'information précise sur la sensibilité des dragues aux forts courants. La vitesse maximale des courants pour les dragues montées sur barge est de l'ordre de 3 à 5 noeuds; les dragues à trémies (ou porteuses) peuvent fonctionner dans des courants plus rapides. Les dragues Mudcat résistent moins bien aux courants que les dragues montées sur barge; les courants entravent particulièrement le travail des plongeurs qui procèdent au dragage avec des tuyaux d'aspiration.

Ce critère ne doit en aucun cas être écarté lorsque les courants peuvent entraver le déroulement des opérations; il s'agit cependant d'un critère relativement mineur par rapport aux autres. Dans les cadres écologiques à terre et cours d'eau non navigables, eaux libres, ports et avant-ports, les courants ne sont pas considérés comme un facteur assez important pour influencer le choix du type de drague à utiliser.

Temps de préparation et de transport: Plusieurs éléments entrent en considération, par exemple la facilité de transport sur de longues distances; la facilité de déplacement sur le site du déversement; la nécessité probable de modifications particulières; la possibilité que le type de drague approprié soit disponible à proximité; et le temps nécessaire aux négociations contractuelles. La cote attribuée est basée sur les besoins en situation d'urgence dans un cadre écologique donné.

2.3 Considérations environnementales

2.3.1 Effets sur l'environnement. - Les recherches faites par l'U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station ont porté sur l'impact écologique du dragage et des opérations de rejet des résidus sur l'environnement (U.S. Army, 1975a,b; 1976; 1977). Ces études se penchent notamment sur l'augmentation de la turbidité, la teneur en MeS et la demande biochimique en oxygène (DBO), ainsi que la diminution de la teneur en oxygène dissous et la répartition des organismes benthiques. Les effets moins directs sont l'altération du profil du fond due au bouleversement du benthos et des régimes de courant. Les effets temporels possibles du dragage sont présentés au tableau 11.

TABLEAU 11 RÉPERCUSSIONS POTENTIELLES DES OPÉRATIONS DE DRAGAGE (tiré de Hand *et al.*, 1978)

Répercussions	Néfastes	Bénéfiques	Court terme	Long terme
Diminutions				
Oxygène dissous	X		X	
Organismes benthiques	X		X	X
Augmentations				
DBO	X		X	
Turbidité	X		X	
MeS	X		X	
Substances toxiques	X		X	X
Métaux lourds	X		X	
Changement				
Interface sédiments - eau	X	X	X	X
Circulation des sédiments	X	X	X	X
Profil du fond	X	X	X	X
Benthos	X	X	X	X

La drague utilisée et la nature des sédiments influent sur le degré d'impact dommageable. Les dragues qui créent le plus de turbidité sont la pire menace pour les organismes aquatiques en raison de la remise en suspension considérable des polluants.

2.3.2 Contrôle de la turbidité. - Le contrôle de la turbidité est d'une très grande importance lorsque les matériaux à draguer sont très pollués. L'utilisation de becs d'élinde de modèle amélioré minimise la remise en suspension des matériaux dragués; on peut aussi contenir le panache de turbidité avec des rideaux de bulles.

Un bec d'élinde spécial, mis au point au Japon et connu sous le nom de "Cleanup", est utilisé avec des dragues suceuses hydrauliques conventionnelles pour l'enlèvement des sédiments pollués; avec ce dispositif, la remise en suspension des matériaux de dragage est minime et le rendement, optimum. Le bec d'élinde est isolé par un manchon articulé qui facilite l'entraînement de l'eau et son mélange dans le même sens. Un piège capture les gaz nocifs résultant de la perturbation des sédiments. En outre, il est équipé d'un dispositif spécial de contrôle qui assure une profondeur de coupe et une densité des boues constantes. Les évaluations ont montré que la turbidité et la demande chimique en oxygène (DCO) à proximité du bec sont pratiquement inchangées par rapport à l'eau non perturbée. Nous n'avions pas en main les spécifications de ce bec d'élinde lors de la rédaction du présent rapport.

On utilise souvent des barrages à jupe pour contrôler la turbidité dans les projets de dragage et les activités de construction comme le battage des pieux, la construction d'un aéroport ou d'une autoroute. Ces barrages sont construits d'une jupe en tissu munie d'une chaîne de lest dans le bas et renforcée par un tendeur disposé à un quart ou un tiers environ du haut de la jupe (figure 13). Théoriquement, la longueur d'un barrage à jupe n'est pas limitée; ce sont les conditions du milieu et les caractéristiques de manutention qui déterminent la longueur que doit avoir un barrage dans une situation donnée. Dans certains cas, elle atteignait plus de 600 m. La partie immergée peut avoir 6 m de haut bien que la hauteur maximale pratique soit généralement de 3 m. La figure 14 illustre les configurations types de déploiement. Il est important de se rappeler que la jupe ne descend pas jusqu'au fond de l'eau et que les matériaux fins en suspension peuvent être entraînés sous la jupe par les courants. Ces barrages contrôlent efficacement la turbidité de surface à condition que les courants n'excèdent pas 0,5 noeud. Ce genre de barrage est donc particulièrement approprié pour les eaux calmes, abritées et peu profondes.

2.3.3 Études sur la turbidité et la remise en suspension du polluant. - L'U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station (WES) a évalué la remise en suspension des

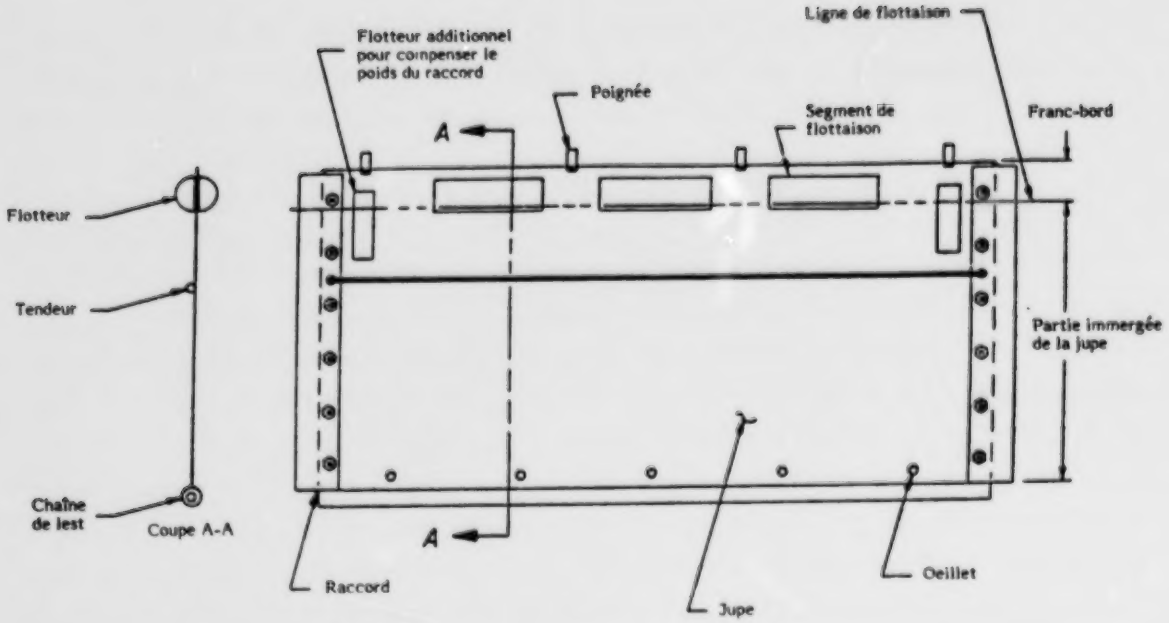


FIGURE 13 SECTION TYPE D'UN BARRAGE À JUPE (Hand *et al.*, 1978)

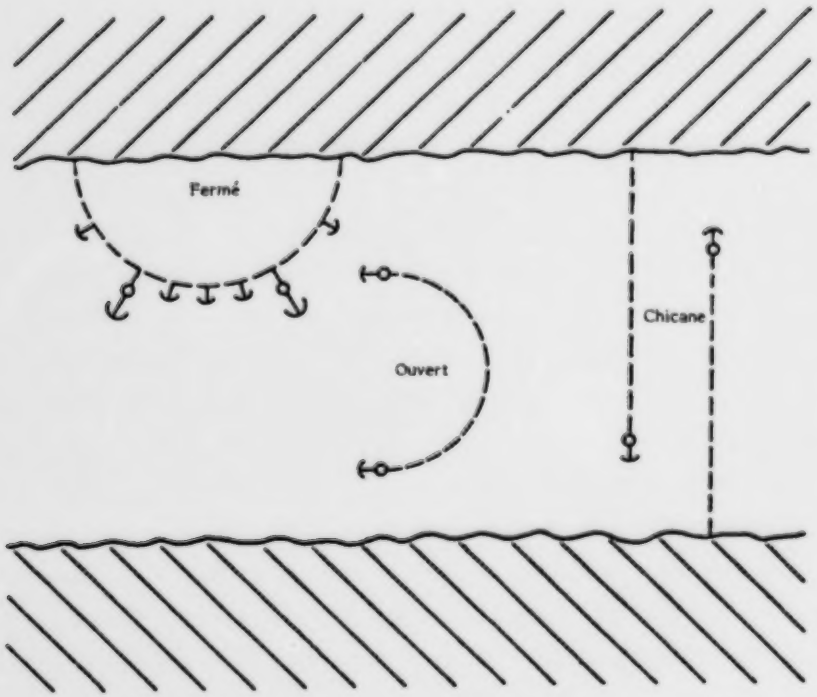


FIGURE 14 CONFIGURATIONS TYPES DE DÉPLOIEMENT D'UN BARRAGE À JUPE (Hand *et al.*, 1978)

sédiments causée par les dragues à désagrégateur, à crépine, à mâchoires et à trémies dans le cadre de l'Improvement of Operational and Maintenance Techniques (IOMT) Research Program (Hayes *et al.*, 1984).

Drague à désagrégateur. Des chercheurs japonais qui ont étudié la drague à désagrégateur ont conclu que le rendement, l'efficacité et la remise en suspension des sédiments dépendent de la profondeur de coupe, de la vitesse du balayage et de la vitesse angulaire du désagrégateur. En juillet 1983, la WES a fait des essais avec la drague à désagrégateur dans la rivière Savannah, en Virginie. Cette étude a confirmé les résultats obtenus par les chercheurs japonais et déterminé que la vitesse du balayage est le facteur le plus important pour les coupes partielles; lors de coupes entières, c'est la vitesse du couteau rotatif qui agit le plus sur la remise en suspension des sédiments. Les recherches indiquent que le panache de turbidité peut s'étendre sur 300 m en aval en surface, et sur 450 m près du fond.

À une certaine distance de la drague (c.-à-d. > 6 m), la teneur en MeS semble dépendre davantage de la vitesse du courant que de l'action de la drague. Des courants rapides amplifient les impacts des opérations de dragage, car ils provoquent des teneurs plus élevées en MeS près du fond et plus haut dans la colonne d'eau.

Drague à mâchoires. La turbidité accrue qu'elle provoque est causée principalement par l'impact de la benne sur le fond, le défonçage et l'extraction des sédiments. Il y a également perte de matériaux lors de la remontée de la benne vers la surface et à sa sortie de l'eau. La nature des sédiments, la vitesse de remontée de la benne et l'état de celle-ci influencent aussi la retombée des matériaux.

L'Institut portuaire du Japon a mis au point une benne étanche qui provoque 30 à 70 p. 100 moins de turbidité que la benne classique. Des évaluations comparatives faites dans la rivière St. Johns, en Floride, ont permis d'établir que la benne étanche réduit de 35 à 45 p. 100 la turbidité dans la partie supérieure de la colonne d'eau. Elle n'influence par contre d'aucune façon la turbidité dans la partie inférieure de la colonne d'eau causée par le défonçage et l'extraction des sédiments. Son avantage est que les mâchoires étant parfaitement étanches, il n'y a pas de pertes de matériaux lors de la remontée de la benne.

Drague à trémies. Les données sur le terrain indiquent que la turbidité produite par une drague à trémies est principalement causée par le trop-plein. Le panache dans le voisinage immédiat de la drague est formé par le trop-plein; près du fond, il y a formation d'une veine de diffusion due à la remise en suspension des sédiments par le bec d'élinde. Le panache de surface peut atteindre 60 m de largeur et 1200 m de longueur avec

une teneur en MeS de 857 mg/l, 30 m en arrière de la drague (Hayes *et al.*, 1984). La veine de fond peut mesurer jusqu'à 120 m x 2600 m. Une étude du panache produit par la tête aspirante de la drague seulement n'a démontré aucune turbidité en surface ou à mi-profondeur. La veine de fond atteignait 60 m x 1100 m avec une turbidité maximale de 70 mg/l.

Mudcat. Les évaluations de l'EPA (Nawrocki, 1976) comprenaient une étude de la turbidité produite par la drague Mudcat. Le garde-boue rétractable qui protège la tarière est placé de façon à minimiser le mélange des sédiments de fond avec l'eau avoisinante. Au cours d'opérations normales de dragage, on a observé que le panache de turbidité était confiné dans un rayon de 4,5 à 6,0 m. Lors d'une simulation de défaillance du système, le panache de MeS ne s'est pas étendu au-delà de 7,6 m.

Drague Oozer et bec Cleanup. Des chercheurs japonais ont entrepris une évaluation de la turbidité provoquée par la drague Oozer munie d'un bec Cleanup lors du dragage de sédiments benthiques pollués dans la baie d'Osaka (Koba et Shiba, 1981). Ils ont observé que la remise en suspension était causée principalement par le déplacement de l'orifice d'aspiration. En faisant varier l'allure du balayage, ils ont constaté que la remise en suspension était presque éliminée lorsque l'allure était réglée à 6 à 7 m/mn. À 1,5 m du fond, les teneurs en MeS s'échelonnaient presque toujours entre 5 et 10 mg/l, ce qui est conforme à la teneur moyenne de fond de 9 à 10 mg/l.

On trouve peu de travaux qui comparent la turbidité produite par les divers types de dragues. Les Japonais ont établi que les dragues à trémies et à désagrégateur ont un potentiel de remise en suspension semblable dans les sédiments argileux, que la drague à mâchoires remet environ deux fois et demie plus de sédiments en suspension que celles-ci, et qu'à ce chapitre, la drague Oozer est de loin la meilleure.

Des évaluations effectuées dans le cadre du IOMT ont permis d'établir que les dragues à désagrégateur et à trémies (sans trop-plein) provoquent moins de remise en suspension des sédiments dans la partie supérieure de la colonne d'eau. Les dragues à mâchoires et à trémies (avec trop-plein) causent définitivement plus de remise en suspension. La turbidité qu'elles provoquent peut cependant être atténuée si elles sont équipées d'une benne étanche et que le trop-plein n'est pas rejeté à l'eau.

Dans le cadre du programme IOMT, la WES continue d'étudier comment limiter l'impact écologique du dragage de sédiments pollués. Les domaines qui retiennent l'attention sont *a*) l'efficacité des dragues à usage déterminé pour limiter la remise en suspension des sédiments comparativement aux dragues conventionnelles et *b*) de toutes les modifications possibles à apporter aux engins de dragage et aux opérations elles-

mêmes, quelles seraient les meilleures combinaisons pour réduire la teneur en sédiments en suspension, à des coûts malgré tout acceptables.

2.4 Recommandations pour l'utilisation des dragues lors du nettoyage d'un déversement

Une étude de la documentation révèle plusieurs recommandations pour le nettoyage, par dragage, de sites pollués.

- Le dragage peut causer une remise en suspension et une plus grande dispersion du polluant. En eaux vives, la remise en dépôt de polluants provenant d'un point en amont sera minimisée en procédant au nettoyage de l'amont vers l'aval, à partir de l'endroit pollué le plus en amont.
- Dans les cours d'eau à courant pratiquement nul, l'étalement des matériaux sera minimisé en commençant par nettoyer l'endroit que l'on sait le plus pollué.
- Il faut avoir sur place tout l'appareillage d'analyse nécessaire (choisi en fonction du produit déversé) pour le dosage du polluant dans les matériaux de dragage. On évite ainsi un dragage excessif ou insuffisant.
- Plusieurs paramètres propres à l'incident doivent être établis avant le nettoyage:
  - la teneur résiduelle acceptable;
  - la persistance du polluant dans l'environnement;
  - l'emplacement du déversement ainsi que les utilisations de la masse d'eau touchée.
- Le dragage à grande échelle de petits cours d'eau n'est indiqué qu'à la seule condition que le débit, le terrain ou d'autres circonstances font que c'est la seule méthode pratique; des cicatrices permanentes sur les berges du cours d'eau ou de coûteux travaux de remise en état sont ainsi évités dans la mesure du possible.

2.4.1 Restrictions et disponibilité. - L'emploi de dragues et de techniques de dragage pour le nettoyage de sites pollués à la suite d'un déversement de produits chimiques dangereux est limité par divers facteurs:

- Le dragage seul permet rarement de récupérer la totalité du(des) produit(s) déversé(s); il faut donc envisager d'autres mesures comme le traitement chimique *in situ* ou l'enfouissement.
- Les restrictions imposées par la hauteur d'eau et le tirant d'eau ainsi que les contraintes écologiques limitent les types de dragues appropriés à un cadre écologique donné.
- L'emplacement où les travaux de dragage doivent être entrepris et la disponibilité de dragues appropriées peuvent entraîner de longs retards.
- Le dragage peut entraîner une remise en suspension et étaler davantage le polluant.

- Le dragage peut avoir des effets dommageables comme l'augmentation des teneurs en MeS, de la turbidité et de la DBO, la diminution de la teneur en oxygène dissous; de plus, la répartition des organismes benthiques peut être modifiée.
- Les boues liquides draguées contiennent généralement 80 à 90 p. 100 d'eau, ce qui implique que des volumes considérables d'eau devront être traités.

Comme on l'a déjà mentionné, les dragues ne sont généralement pas fabriquées en modèles standard; elles sont habituellement conçues pour un ouvrage précis. Le tableau 12 permet de se faire une idée du nombre et du genre de dragues appartenant au secteur privé. L'adresse des fabricants est donnée à l'annexe A.

TABLEAU 12 DRAGUES APPARTENANT AU SECTEUR PRIVÉ: DISTRIBUTION RÉGIONALE (Wodcon, 1985)

Type de drague	Ouest canadien	Prairies	Ontario	Québec	Atlantique canadien
Drague suceuse à trémies	2	1	2		
Drague suceuse à désagrégateur	15	2	18	3	3
Drague suceuse	2	1	1	2	
Drague suceuse à godets	1				
Drague à godets					1
Drague à benne preneuse à mâchoires	15		30	1	5
Drague à cuiller			8		1
Drague porteuse à benne preneuse			1		
Drague à rétrocaveuse	3		4		1

2.4.2 Coûts du dragage. - Le coût du dragage par volume unitaire varie considérablement. Il est fonction de l'emplacement et du cubage à extraire, du type de substrat, de la hauteur d'eau, de la proximité et du type de zone de mise en dépôt, etc. D'après le *World Dredging and Marine Construction Journal* (janvier 1985), le coût moyen s'élèverait à 1,96 $/m^3$. Les coûts signalés par Phillips et Malek (1984) varient entre 1,39 $/m^3$ et 3,05 $/m^3$, pour une moyenne de 1,63 $/m^3$.

3 RETENUE

La retenue implique l'utilisation d'un barrage physique pour limiter la dispersion et permettre le traitement dans l'eau des matières dangereuses déversées. Dans ces conditions, l'ajout de produits chimiques peut se faire avec un minimum de risques pour l'environnement et la réaction peut être mieux contrôlée. L'efficacité de la retenue et les bénéfices retirés par rapport aux frais engagés sont avant tout liés à la possibilité de retenir convenablement le produit déversé. Et cela dépend de la nature du déversement, de la superficie du plan d'eau pollué, du mode de dispersion et de la rapidité de l'intervention.

Les dispositifs de retenue types pour les déversements de produits coulants comprennent les digues, les tranchées, les barrages à jupe et les systèmes de dérivation. Une description et les limites inhérentes de ces dispositifs sont données ci-après.

3.1 Digues immergées et semi-immergées

Les digues immergées et semi-immergées peuvent être utilisées pour contenir les matières déversées avant la récupération proprement dite. Elles empêchent la dispersion de la matière déversée et permettent l'utilisation judicieuse des matériaux de recouvrement ou des techniques de traitement. La documentation consultée ne contient aucune information sur l'utilisation de digues dans le cas de déversements de matières dangereuses.

Les digues immergées sont généralement construites avec des matériaux granulaires à l'aide d'engins de dragage ou de terrassement. Le plus souvent, il s'agit de digues à talus construites soit dans l'eau, soit directement le long de la laisse de basses eaux et des îles. Des études sur les digues destinées à contrôler les coulées de boue indiquent que la hauteur de la digue doit être le double de celle de la coulée pour en arrêter la progression (White, 1966). Dans les quelques cas où on a eu recours à ce type de digue, la hauteur d'eau était en général inférieure à 10 m. Les digues de retenue conviennent strictement pour les zones précôtières calmes ou les tronçons de cours d'eau et zones portuaires où l'eau est peu profonde, éventuellement bordées d'un côté ou plus de barrages naturels. L'utilité des digues pour contenir des produits déversés est inversement proportionnelle à la quantité de produit déversé. Plus celle-ci est importante, plus il faut de temps pour rassembler les matériaux et engins nécessaires et construire une digue, et moins grande sera son utilité comme mesure d'urgence. L'endiguement de déversements majeurs peut devenir un problème plus important que le déversement lui-même en raison de ses répercussions sur l'environnement et sur le trafic fluvial ou maritime.

Une digue d'urgence construite de remblayage hydraulique coûterait 5,25 $/m^3 ($ U.S. de 1984). Une digue de 6 m de haut avec une pente de 4:1 coûterait au moins 750 $ le mètre linéaire, sans compter les honoraires de l'ingénieur et les imprévus.

3.2 Tranchées

Les tranchées peuvent être utiles pour endiguer les PCC insolubles, en particulier dans les cours d'eau et autres masses d'eau dont on connaît la nature des courants.

Des expériences avec du dichlorure d'éthylène (dichloro-1,2 éthane) liquide indiquent que la séparation gravitaire au moyen de tranchées s'avère utile pour circonscrire les déversements de PCC dangereux (Pilié *et al.*, 1975). Environ 85 p. 100 du volume déversé ont été recueillis lors d'une expérience contrôlée dans des conditions de faible débit et une pente de 2 p. 100. Des expériences semblables à des débits élevés (non précisés) indiquent une récupération tout aussi bonne. La configuration expérimentale est illustrée à la figure 15.

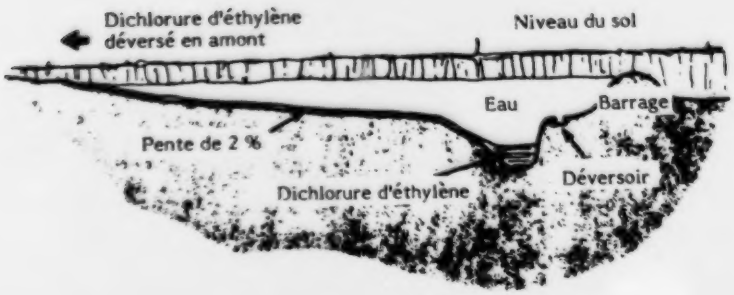


FIGURE 15 CONSTRUCTION D'UNE TRANCHÉE POUR EMPRISONNER DES MATIÈRES DÉVERSÉES QUI COULENT AU FOND DE L'EAU (Pilié *et al.*, 1975)

On doit tenir compte du type et de la quantité de matériaux de recouvrement, de la fréquence du recouvrement et de la topographie locale ainsi que des courants de fond lorsqu'on choisit l'emplacement et calcule les dimensions de la tranchée. Dans les

endroits à écoulement unidirectionnel, la tranchée sera de préférence en aval du déversement; là où l'écoulement est varié ou aléatoire, on recommande de creuser une tranchée en forme de cercle.

Les dépressions naturelles ne constituent probablement pas de bonnes aires de retenue étant donné que les forces qui créent ces dépressions emporteraient également la matière déversée ayant pu s'y déposer.

Il faut de l'équipement de dragage comme les dragues à benne à mâchoires, les dragues à benne traînante et les dragues hydrauliques ou suceuses, basées sur terre ou embarquées, pour creuser une tranchée submergée. Le choix de l'équipement de dragage est dicté par les caractéristiques locales. Dans les eaux non navigables, on peut utiliser des dragues suceuses manuelles ou des dragues à benne à mâchoires basées sur terre. Les dragues hydrauliques peuvent être utilisées pour de gros déversements en eau profonde.

Unterberg *et al.* (1984) mentionnent que le creusage d'une tranchée immergée n'est possible qu'à des profondeurs inférieures à 15 m. Le vent, l'action des vagues et les courants sont d'autres facteurs limitant les opérations de dragage.

Le coût de construction d'une tranchée immergée a été évalué entre 6,50 $ et 20 $/m^3 ($ U.S. de 1984).

3.3 Systèmes de dérivation

Dans de petits cours d'eau et des réservoirs, on peut parfois contenir les produits déversés en isolant une section et en dérivant l'eau. Le problème est que ces masses d'eau ont généralement un débit ou trop élevé pour être endiguées par un barrage, ou trop faible pour qu'il y ait dilution et dispersion rapides des polluants.

Nous avons trouvé dans la documentation consultée trois cas de déversement où l'on a fait appel à la dérivation du cours d'eau. Dans le premier cas, le faible débit (0,22 m^3/h) a permis d'installer des barrages et de dévier l'eau par un long tronçon de flexibles posé sur le lit du cours d'eau. On a ainsi évité d'avoir à utiliser une pompe; en revanche, les flexibles ont quelque peu gêné le traitement de la section isolée. Dans le second cas, un cours d'eau se déversant dans un réservoir a été isolé avec des barrages et on s'est servi de deux pompes d'une capacité de 9,5 m^3/mn pour dévier l'eau. Dans le troisième cas, on a utilisé le système de dérivation mobile de l'EPA.

Ces méthodes ne s'appliquent qu'aux cours d'eau et réservoirs à débit relativement faible. La dérivation est si rarement appliquée que l'EPA étatsunienne s'est départie de son système de dérivation mobile.

3.4 Barrage de retenue pour matières dangereuses

Un barrage de retenue pour matières dangereuses, conçu pour encercler le produit déversé dans l'eau, a été mis au point pour l'EPA étatsunienne (figure 16). Ce barrage vient en sections de 61 m de long fabriquées en plastique souple renforcé par des fibres. La flottaison est assurée par un boudin gonflable. Le bas du barrage, qui est lesté, repose sur le fond et empêche que le produit ne s'échappe par le bas. Le tout est amarré par des ancres enfouies à l'explosif.

Le déploiement du barrage nécessite au moins 5 personnes, une ou deux embarcations à moteur hors-bord, des compresseurs d'air portatifs et une pompe à eau intégrée (Hand *et al.*, 1978). Le système a été conçu pour être transporté dans un petit camion ou par hélicoptère. Au cours des essais conduits à Sugar Grove, Virginie - Occidentale, le système a été déployé en six heures.

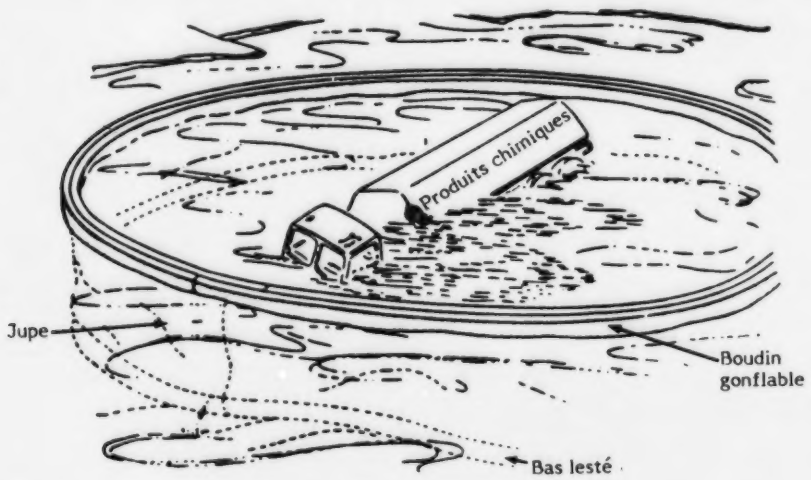


FIGURE 16 DÉPLOIEMENT DU BARRAGE DE RETENUE POUR MATIÈRES DANGEREUSES (Hand *et al.*, 1978)

Les courants sont le plus important facteur limitant. Ce barrage ne convient que dans des courants inférieurs à 1 noeud, des vents inférieurs à 40 noeuds et des vagues inférieures à 2 m. Le déploiement a été difficile dans des courants atteignant seulement 0,75 noeud. Cette unité est limitée à des hauteurs d'eau de huit mètres; elle n'a jamais été essayée en eaux libres; on a aussi constaté qu'il était difficile de maintenir le bas de la jupe en parfaite position. Le déploiement nécessite un certain laps de temps et ce type de barrage devrait probablement être réservé pour des déversements en eaux calmes.

Ce système n'a pas dépassé le stade du prototype et l'EPA ne prévoit pas sa mise en marché.

Le module de base et l'appareillage nécessaire à l'amarrage sont évalués à 65 000 $ ($ U.S. de 1978). Les compresseurs d'air, les boudins gonflables et l'équipement auxiliaire doivent être achetés séparément.

Les sédiments pollués peuvent être isolés chimiquement et biologiquement de la colonne d'eau en les recouvrant d'une couche de matériaux propres (figure 17). Du point de vue écologique, ces pratiques peuvent s'avérer préférables à l'enfouissement en milieu terrestre et sont de plus en plus acceptées comme solution extrêmement utile (Shields et Montgomery, 1984). L'enfouissement peut se faire sur les lieux mêmes du déversement ou dans un milieu moins vulnérable. Ces techniques d'enfouissement *in situ* ont été proposées pour l'élimination de PCC dangereux déversés, mais elles représentent rarement la solution la plus souhaitable. Unterberg *et al.* (1984) sont d'avis que l'enfouissement *in situ* ne doit jamais constituer une solution permanente; Hand *et al.* (1978), par contre, affirment que cette alternative peut convenir pour les produits chimiques mentionnés au tableau 13 dans les situations suivantes:

- comme mesure d'atténuation temporaire pour retarder la dispersion ou réduire le danger jusqu'à ce que l'élimination proprement dite commence;
- comme mesure finale pour isoler tous les sédiments benthiques pouvant encore être pollués;
- comme seule mesure lorsque la récupération n'est pas possible ou lorsque la matière déversée est inoffensive (ou presque).

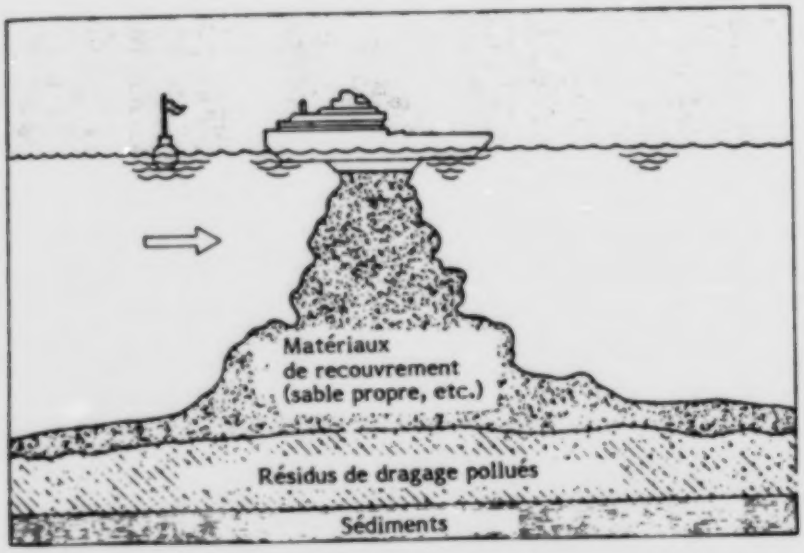


FIGURE 17 MISE EN PLACE D'UN MATÉRIAU DE RECOUVREMENT AU MOYEN D'UNE DRAGUE PORTEUSE (Shields et Montgomery, 1984)

TABLEAU 13 PRODUITS CHIMIQUES ET MATIÈRES ÉLIMINABLES PAR ENFOUISSEMENT *IN SITU* (Hand *et al.*, 1978)

Arséniate de plomb	Hydroxyde de calcium
Asphalte	Phosphore blanc
Carbonate de baryum	Phosphore rouge
Fluorure d'aluminium	Soufre
Fluorure de calcium	

Ils estiment que les produits énumérés sont inoffensifs ou que toute tentative de les récupérer aggraverait les dangers qu'ils peuvent présenter pour l'environnement. La *Convention de Londres*, ratifiée par le Canada, a accepté le recouvrement des sédiments pollués dans des sites d'élimination en eaux libres soumis à une surveillance rigoureuse et à des études de suivi (Shields et Montgomery, 1984). Il faut remarquer que l'enfouissement de matières à l'état liquide peut s'avérer inadéquat étant donné leur tendance à se disperser au contact d'un matériau de recouvrement.

Trois catégories de matériaux peuvent servir pour le recouvrement de produits dangereux déversés: les matériaux inertes, ceux chimiquement actifs et les agents de scellement. Chaque catégorie varie selon la nature du matériau, sa capacité à retarder la dispersion des polluants dans le milieu, sa vulnérabilité à l'affouillement et ses répercussions possibles sur le biote. Le tableau 14 résume les caractéristiques des sites d'élimination recouverts existants.

4.1 Matériaux inertes de recouvrement

Jusqu'à présent, le recouvrement de sédiments pollués s'est fait presque exclusivement avec des matériaux inertes (Shields et Montgomery, 1984). Les matériaux de recouvrement inertes comprennent l'argile, le sable et la terre à diatomées; le tableau 15 présente une liste plus complète.

Le paramètre déterminant dans le choix d'un matériau de recouvrement est la résistance à l'affouillement et à l'érosion. La vitesse et le degré d'affouillement dépendent des caractéristiques des particules (c.-à-d. la granulométrie, l'uniformité, la forme et la répartition granulométrique), de la cohésion et du degré de consolidation des matériaux. Un guide qualitatif de l'érosivité des divers matériaux de recouvrement inertes est présenté au tableau 16. Les sables fins sont généralement plus érodables que des matériaux cohésifs ou les sables grossiers.

TABLEAU 14 CARACTÉRISTIQUES DES SITES D'ÉLIMINATION RECOUVERTS EXISTANTS (Shields et Montgomery, 1984)

Emplacement	Nature du site	Cubage de matériaux pollués	Cubage des matériaux de recouvrement	Épaisseur du recouvrement (m)	Type de drague utilisée	Méthode de mise en place utilisée	Zone de recouvrement délimitée par
Port de Rotterdam (Hollande)	Excavé	1 500 000			Hydraulique suceuse	Diffuseur immergé	Instruments de surveillance
Duwanish Waterway Seattle, WA (É.-U.)	Dépression (20 m de profondeur)	680	765	0,6	À mâchoires	Chaland	Instruments de surveillance
Baie d'Hiroshima (Japon)	Sédiments de fond recouverts de sable propre	Aucune excavation	23 600	0,3 à 0,5		Trémie et épandeuse à sable	
Central Long Island Sound (É.-U.)	Au large, 20 m de profondeur	37 800	76 000 limon	4,0	À mâchoires	Chaland	Bouées
Central Long Island Sound (É.-U.)	Au large, 20 m de profondeur	26 000	84 000 sable	3,5	À mâchoires et trémie	Chaland et trémie	Bouées
Central Long Island Sound (É.-U.)	Au large, 20 m de profondeur	16 000	Limon et sable		À mâchoires	Chaland	Bouées
New York Bight (É.-U.)	Au large, 25 m de profondeur	382 000	1 362 000		À mâchoires	Chaland	Bouées
Port de Purpoise Prince Rupert C.-B. (Canada)	À l'intérieur du quai de chargement, 5 m de profondeur	25 000	100 000 Lixiviat de combustible de déchets ligneux et roche		Sans objet	Du rivage	Moyens inconnus

TABLEAU 15 MATÉRIAUX INERTES DE RECOUVREMENT (Robinson, 1979)

À grains grossiers	À grains fins
Gravier	Kaolinite
Sable	Bentonite
Roche concassée	Smectites
Verre concassé	Argile plastique
	Argile réfractaire
	Argiles diverses (locales)
	Terre à diatomées - adjuvant de filtration

TABLEAU 16 VITESSES APPROXIMATIVES D'ÉROSION DE DIVERS MATÉRIAUX INERTES (d'après Robinson, 1979)

Matériau	Valeurs approximatives des vitesses d'érosion (cm/s)
Sable grossier/gravier	40 à 300
Sable moyen	20 à 40
Sable fin	20
Limon	
consolidé	30 à 70
non consolidé	9 à 20
Argile	
consolidée	50 à 300
non consolidée	6 à 15

Le degré de consolidation a un effet important sur le degré d'érosion des particules fines. Pour que la couche de recouvrement demeure intacte et que les deux couches se consolident, le matériau de recouvrement doit être plus dense que les sédiments benthiques et la contrainte de cisaillement le long de l'interface doit être supérieure à la résistance du dépôt (Shields et Montgomery, 1984). La surveillance du site de Stamford/Newhaven où l'on a procédé à l'enfouissement par recouvrement a révélé que lorsqu'on a établi quelle devrait être la stabilité de la couche de recouvrement, la contrainte exercée par les vagues de tempêtes s'est révélée plus importante que l'épaisseur de la couche protectrice, la force des courants ou la nature cohésive des sédiments.

La perméabilité d'un matériau est un bon indice de sa capacité à retarder la diffusion du produit enfoui dans le milieu. Plus les grains sont grossiers, plus la couche est perméable et plus le risque est grand. Les sables sont très perméables et n'offrent donc pas une bonne protection. Certaines argiles très peu perméables préviendront la réexposition du polluant. Les capacités d'absorption et d'échange ionique du matériau de recouvrement influent également sur sa capacité à retarder la diffusion du polluant dans le milieu. La capacité des argiles à "lier" physiquement et chimiquement diverses matières organiques et divers métaux est un autre facteur positif. Le degré de couverture nécessaire pour empêcher la diffusion du(des) polluant(s) dans la colonne d'eau n'a pas encore été établi.

Il faut tenir compte des populations biologiques particulières au site dans le choix des matériaux inertes de recouvrement et le calcul de l'épaisseur de la couche de recouvrement. Le biote le plus apte à recoloniser le site préférera des matériaux compatibles avec les sédiments benthiques naturels. Une couche de recouvrement en sable attirera les organismes non fouisseurs qui se nourrissent de substances en suspension, tandis que des matériaux fins attireront les organismes benthiques. Il est préférable d'utiliser du sable, même s'il est incompatible avec les sédiments sous-jacents, afin de décourager la recolonisation et ainsi éviter de réexposer les organismes fouisseurs. On peut également prévenir la réexposition en descendant à une profondeur supérieure à celle où évoluent les organismes fouisseurs présents. Pour empêcher la réexposition du polluant par activité biologique, une couche de recouvrement de 1 m est généralement adéquate pour les eaux précôtières abritées; il demeure qu'on doit dans tous les cas étudier l'érosivité du site et faire l'inventaire des populations biologiques qui l'habitent.

Le recouvrement ne semble pas recommandable pour les liquides puisqu'ils tendent à se disperser au contact du matériau de recouvrement. À noter également que le recouvrement avec des matériaux inertes ne modifie aucunement les propriétés chimiques du polluant. La menace pour l'environnement persiste donc advenant l'érosion de la couche protectrice. On n'a pas encore calculé l'épaisseur nécessaire pour assurer une protection totale dans le cas de recouvrement de liquides. Les opérations de recouvrement avec des matériaux inertes sont susceptibles de causer de la turbidité et une remise en suspension des sédiments.

On peut facilement extraire des matériaux de recouvrement inertes avec l'équipement de dragage existant. Pour la mise en place de la couche de recouvrement, par contre, certaines modifications devront éventuellement y être apportées.

Le coût de l'opération dépend de la disponibilité des matériaux de recouvrement. Si les matériaux de recouvrement peuvent être obtenus sur les lieux mêmes du projet ou, à défaut, d'un chantier voisin, le recouvrement peut se faire à peu de frais si le projet est bien administré. Si les matériaux de recouvrement doivent être spécialement dragués, les coûts augmentent sensiblement.

Il en a coûté environ 140 000 $ pour couvrir 30 000 m^3 de matériaux pollués à Stamford/Newhaven à l'aide d'une drague porteuse; le coût estimatif du matériau de recouvrement était de 1,83 $/$m^3$ (Phillips et Malek, 1984).

4.2 Matériaux de recouvrement actifs

Les matériaux de recouvrement actifs réagissent avec le produit chimique déversé pour le neutraliser ou en réduire la toxicité. Comme la plupart de ces matériaux

sont de faible granulométrie, ils sont généralement combinés à un matériau inerte qui agit comme stabilisant pour réduire le risque d'affouillement et d'érosion. On peut également superposer aux matériaux actifs une couche de matériaux inertes seuls ou mélangés pour réduire la perméabilité et retarder la réexposition du polluant.

Le mélange du matériau actif et du matériau inerte peut se faire à terre, à bord d'une barge ou par injection de boue liquide par une canalisation. Il n'existe pas d'agent actif universel de recouvrement; il faut donc évaluer chaque situation qui se présente.

Les effets sur le biote peuvent exclure l'emploi de plusieurs de ces agents. Il faut prendre les précautions nécessaires lors de la mise en place du recouvrement pour ne pas nuire à certains organismes qui se trouvent hors de la zone touchée.

Le choix du matériau de recouvrement actif se fait en fonction de son aptitude à réduire la toxicité du produit déversé dans des conditions de milieu précises. Le tableau 17 présente une liste des matériaux actifs courants et le tableau 18 présente les matériaux indiqués pour des produits donnés. Les situations résumées dans le tableau 19 donnent une idée des coûts et des produits utilisés dans les circonstances.

L'utilisation d'agents actifs comporte des restrictions: ils coûtent plus cher que les matériaux de recouvrement inertes; les polluants peuvent être réexposés en cas d'érosion; et ils peuvent avoir des effets nocifs pour le biote, effets qu'on ne connaît pas avec certitude et qui restent à définir plus précisément.

Les fournisseurs de matériaux de recouvrement actifs sont A & C American Chemicals Ltd., CIL Inc., et J T Baker Chemical Company. Le coût varie de 230 $ à 4500 $/tonne.

4.3 Agents de scellement

4.3.1 Coulis et ciments. - Les ciments et coulis durcissent pour former une croûte qui empêche l'érosion et la remise en suspension des matériaux pollués. Des travaux sur la stabilisation des résidus de dragage et le mélange en profondeur des sédiments pollués ont été faits au Japon et l'injection de ciment est fréquemment utilisée par l'industrie pétrolière off-shore. La technique faisant appel aux coulis en eaux salées est parfaitement au point et peut être facilement adaptée pour le recouvrement de sédiments pollués.

Trois méthodes de base permettent la solidification des sédiments:

1) les sédiments sont extraits, solidifiés et redéposés sur le site;
2) la zone est asséchée et les sédiments sont solidifiés sur place;
3) les sédiments benthiques sont solidifiés sur place; l'agent solidifiant est amené sur les lieux par bateau ou barge.

TABLEAU 17 MATÉRIAUX DE RECOUVREMENT ACTIFS (Robinson, 1979)

Matériau de recouvrement	Agent(s) actif(s) ou mécanisme
Ferraille	Absorption des oxydes de fer
Minerais sulfurés - pyrite	Sulfure de fer
Terre à diatomées	Adsorption
Bioxyde de manganèse	Adsorption
Déchets protéinés	Sulfure
Laine	
Plumes de volaille	
Xanthates	
Composés du charbon	Adsorption (principalement les matières organiques)
Charbon actif	
Noir de fumée	
Charbon animal	
Charbon de bois	
Carbonates de calcium	Carbonate, neutralisation de l'acide
Calcaire	
Chaux	
Craie	
Stucco	
Chaux de tannerie épuisée	
Gypse (sulfate de calcium)	Sulfate
Soufre	Soufre
Permanganate de potassium	Agent oxydant
Alun (oxyde d'aluminium)	Adsorption
Sulfate ferrique	Sulfate de fer
Échangeurs d'ions commerciaux	Échange d'ions

TABLEAU 18 MATÉRIAUX DE RECOUVREMENT RECOMMANDÉS POUR DES PRODUITS CHIMIQUES DONNÉS (Robinson, 1979)

Produit déversé	Matériau de recouvrement recommandé
Fluorure d'aluminium	Inerte
Fluorure de calcium	Alumine
Asphalte	Inerte
Carbonate de baryum	Inerte, sulfate de calcium, sulfate ferrique
Hydroxyde de calcium	Inerte, sulfate, carbonates - calcaire
Arséniate de plomb	Inerte, matériaux basiques - calcaire
Phosphore, rouge ou blanc	Soufre, pyrite, agents oxydants à l'état solide
Soufre	Inerte, matériaux basiques - calcaire
Produits chimiques organiques	Inerte

TABLEAU 19 AGENTS DE RECOUVREMENT ACTIFS SÉLECTIONNÉS: COÛT, APPLICATIONS ET DENSITÉ (adapté de Hand *et al.*, 1978)

Agent de recouvrement	Produit déversé	Coûts habituels* ($/t)	Densité	Remarques
Sulfate de fer	Hydroxyde de calcium	4500	3,1	Faiblement acidique; risque de formation d'hydroxydes ferriques dans des conditions aérobies - récupération du métal
Alun	Hydroxyde de calcium	295	1,7	Faiblement acidique; peut former de l'hydrogène sulfuré par biodégradation. Formation possible d'hydroxydes d'aluminium en conditions aérobies
Calcaire	Arséniate de plomb	230	2,7	Faiblement basique; pouzzolanique
Soufre	Phosphore	670	2,0	Le soufre est jugé dangereux si déversé
Alumine	Fluorure d'aluminium et de calcium	306	4,0	Absorbe le fluorure
Potassium	Phosphore	4150	2,7	Puissant oxydant; peut être toxique pour le benthos; formation d'hydroxydes de manganèse

* En dollars U.S. 1978.

Il y a très peu d'exemples d'utilisation de cette dernière solution bien qu'elle soit la plus souhaitable et la plus pratique en situation de déversement. Les principales raisons sont que *1)* l'eau est polluée par le brassage des sédiments et de l'agent solidifiant; *2)* la résistance des matériaux solidifiés n'augmente pas sensiblement étant donné qu'une grande partie de la couche superficielle des sédiments est retirée; et *3)* on s'inquiète des effets nocifs pour le benthos des zones environnantes (Kita et Kubo, 1981). La solidification *in situ* a été très peu utilisée jusqu'ici et on ne dispose pas des techniques de pointe en Amérique du Nord. Takenaka Komuten Co., Ltd., d'Osaka au Japon, a mis au point un système pour le dragage, le traitement, la fixation chimique et l'élimination à terre de sédiments portuaires très pollués. La boue est mélangée avec un adjuvant à base de ciment portland pour former un sol stable, chimiquement inerte et capable de supporter de lourds ouvrages. Ce système n'est plus commercialisé en Amérique du Nord. On peut obtenir des informations en s'adressant à la Takenaka Komuten Co., Ltd. (voir annexe A).

Les composés de cimentation comme le ciment portland, le gypse et la chaux sont recommandés alors qu'on déconseille les matières organiques comme les coulis organiques, les asphaltes et les résines en raison de leur coût beaucoup plus élevé. De plus, de nombreux coulis chimiques contiennent des substances qui sont elles-mêmes dangereuses; et ils peuvent avoir des effets nocifs pour le biote. À noter que très peu d'études se sont penchées sur les effets écologiques des coulis.

Les études ont démontré que le ciment et les coulis à prise rapide sont les matériaux les plus résistants à l'érosion et à la dilution mais que leur tenue est mauvaise dans des conditions de turbulence. Leur perméabilité est généralement faible; elle varie avec l'agent de scellement utilisé, les conditions du sol et la technique d'application. La possibilité de fissuration lors de la consolidation des sédiments sous-jacents nécessite la pose d'une couche de matières inertes qui permet du même coup une meilleure stabilité et qui procure un habitat aux organismes benthiques.

L'injection de ciment est très utile pour construire un barrage dans les zones à faible courant et donne les meilleurs résultats lorsqu'elle est utilisée avec des neutralisants des produits chimiques emprisonnés. Cette technique ne convient pas pour les produits à l'état liquide, sauf si le liquide a migré en totalité dans les sédiments.

4.3.2 Membranes de polymère. - Des membranes synthétiques, résistantes aux produits chimiques dangereux, peuvent être utilisées comme système de retenue temporaire de PCC insolubles dans l'eau. Un système de mise en place monté sur barge a été proposé mais n'a jamais été essayé sur le terrain (Shields et Montgomery, 1984). Le principal facteur limitant est le coût de l'équipement nécessaire pour mettre en place une telle membrane.

Il existe sur le marché un grand choix de membranes en matière plastique et élastomère, notamment:

- le polyéthylène (faible ou haute densité)
- le chlorure de polyvinyle (PVC)
- le caoutchouc butyle
- le terpolymère d'éthylène-propylène-diène (EPDM)
- le 3110 (marque de commerce de Du Pont - polyoléfine élastifiée)
- le polyéthylène chloré (PC)
- le néoprène
- le polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon)
- le Shelter-Rite XR5 (marque de commerce de la Seaman Corporation)
- le polypropylène.

Chaque membrane résiste à une grande variété de produits chimiques dangereux; on recommande toutefois de consulter le fabricant avant d'utiliser une membrane avec une substance dangereuse ou un procédé de traitement donnés. Lorsque ces membranes sont utilisées avec un procédé de neutralisation, il faut que la membrane puisse résister à des températures élevées en raison de la réaction exothermique.

Le tableau 20 donne certains exemples des propriétés physiques des membranes. Les membranes se vendent sous forme de feuilles en dimensions standard de 12 m de large, 200 m de long et 1 à 5 mm d'épaisseur selon la matière. Ces feuilles peuvent également être renforcées d'un tissu pour en augmenter la résistance. Les panneaux ou feuilles sont transportés sur le site de déversement où ils sont assemblés par thermosoudage, cémentation ou salvosoudure.

Unterberg *et al.* (1984) ont laissé entendre que les courants et la hauteur d'eau restreignent l'utilisation des membranes aux eaux non navigables ou peu profondes. Les systèmes de mise en place des membranes polymères n'ont pas été essayés sur le terrain en raison du coût (12 $ à 24 $/m^2 selon l'épaisseur). Parmi les fabricants de membranes polymères se trouvent Lexcan Industrial Supply Ltd., B F Goodrich Canada Inc. et Schlegel Lining Technology Inc.

TABLEAU 20 PROPRIÉTÉS DES MEMBRANES SYNTHÉTIQUES (Solsberg et Parent, 1986)

Propriété	Polyéthylène							
	Faible densité	Haute densité	PVC*	PC*	Poly-propylène	Caoutchouc butyle	Hypalon	EPDM*
Densité	0,92 à 0,94	0,94 à 0,96	1,24 à 1,30	1,35 à 1,39	0,9 à 0,91	0,92 à 1,25	1,4 à 1,5	1,15 à 1,21
Résistance à la traction (kPa)	8 963 à 17 239	16 548 à 33 096	17 238 à 24 133	12 411	27 580 à 220 640	6 895 à 27 580	6 855 à 13 790	8 964 à 10 343
Allongement (%)	200 à 800	10 à 650	250 à 350	375 à 575	40 à 400	300	300 à 500	300
Température supportée (°C)	- 57 à 82	- 57 à 116	- 51 à 93	- 40 à 93	- 51 à 104	- 46 à 163	- 43 à 93	- 59 à 149
Résistance aux acides	F - B	B	B - E	B - E	B - E	B	B	B - E
Résistance aux bases	B - E	B - E	B - E	B - E	B - E	B	B - E	B - E
Résistance aux solvants oxygénés	F - B	F - B	B	F	F	B - E	B	B - E
Résistance aux solvants aromatiques et halogénés	M - B	M - B	B	F	B	F	M	F
Résistance aux solvants aliphatiques	M - B	M - B	B	B	B	F	B	F

F= faible; M= médiocre; B= bonne; E= excellente.
* PVC= chlorure de polyvinyle; PC= polyéthylène chloré; EPDM= terpolymère d'éthylène-propylène-diène.

4.4 Techniques de mise en place

Les techniques de mise en place des matériaux de recouvrement sont examinées en détail par Hand *et al.* (1978). Voici un bref résumé de leurs travaux.

4.4.1 Dragues porteuses (ou à trémies). - Les dragues porteuses sont très utiles dans les eaux non abritées ou dans les zones portuaires profondes et les chenaux profonds. Il se peut que le tirant d'eau minimum de 4 m soit insuffisant pour la technique de mise en place des matériaux choisis.

Déchargement ponctuel. Le déchargement ponctuel consiste à recouvrir les matières déversées avec des matériaux extraits de chenaux voisins ou d'autres zones au moyen d'une drague porteuse. La drague doit être manoeuvrée avec une très grande précision dans la zone à recouvrir et on doit ajouter 2,1 à 2,4 m au tirant d'eau en charge. Les autres problèmes associés à cette technique sont les effets que peuvent avoir les matériaux de recouvrement déversés sur le fond (argile et limon à faible teneur en eau, surtout), ou les effets de l'affouillement si l'on utilise du sable. Dans les deux cas, il y a possibilité de remise en suspension des matériaux de recouvrement éliminant du coup l'utilité de cette pratique. Si la mise en place des matériaux de recouvrement n'est pas étroitement surveillée ou que la couche protectrice est inégale, le déchargement ponctuel perd également de sa valeur.

Évacuation par pompage. L'élinde de la drague porteuse peut être utilisée pour déverser les matériaux de recouvrement à quelques pieds du fond. Cette technique réduit l'affouillement, la formation de monticules et la turbulence associés au déversement ponctuel. Il faut pour cela des dragues porteuses déjà équipées de pompes refoulantes et on devra installer des conduites additionnelles sur la drague.

La figure 18 schématise le réseau de canalisations proposé. Les pointillés représentent les canalisations qui doivent être ajoutées au réseau existant. Le coût estimatif préliminaire de 150 000 $ ($ U.S. de 1978) comprend les frais d'ingénierie et de conception, d'installation et le matériel.

Les restrictions liées au tirant d'eau sont en relation avec la drague utilisée. Les hauteurs d'eau minimales seront de 1,5 à 2 m supérieures au tirant d'eau en charge et les profondeurs maximales de pompage des matériaux se situeront entre 15 et 20 m si l'on veut que le recouvrement soit parfait. On utilisera des instruments de navigation de haute précision car, c'est bien connu, les dragues ne permettent habituellement pas une navigation précise.

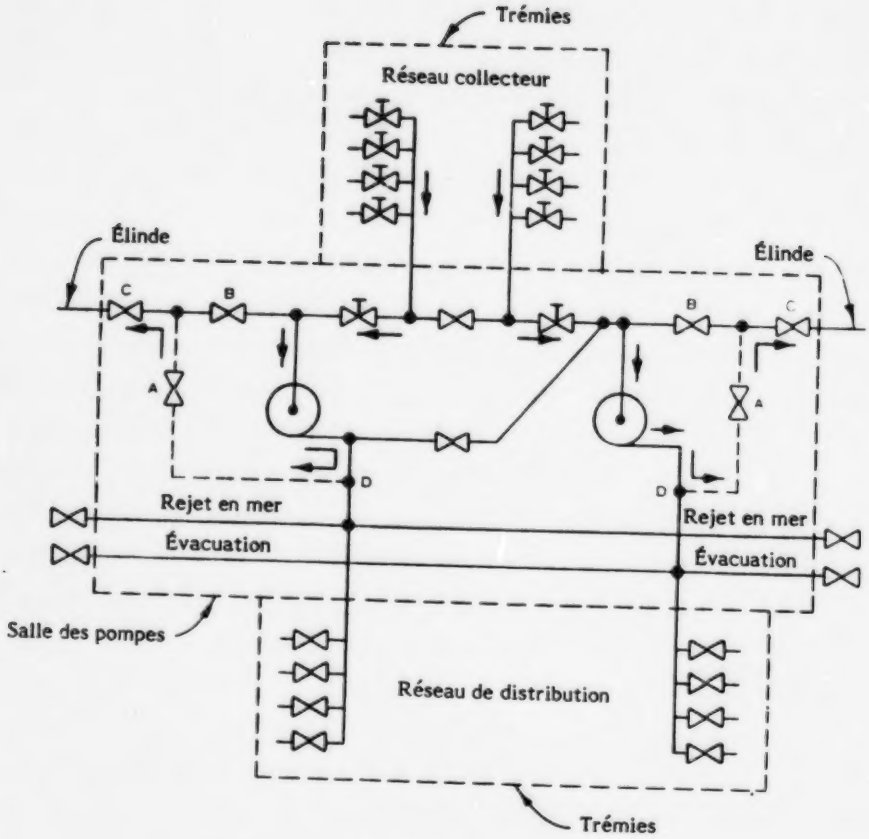
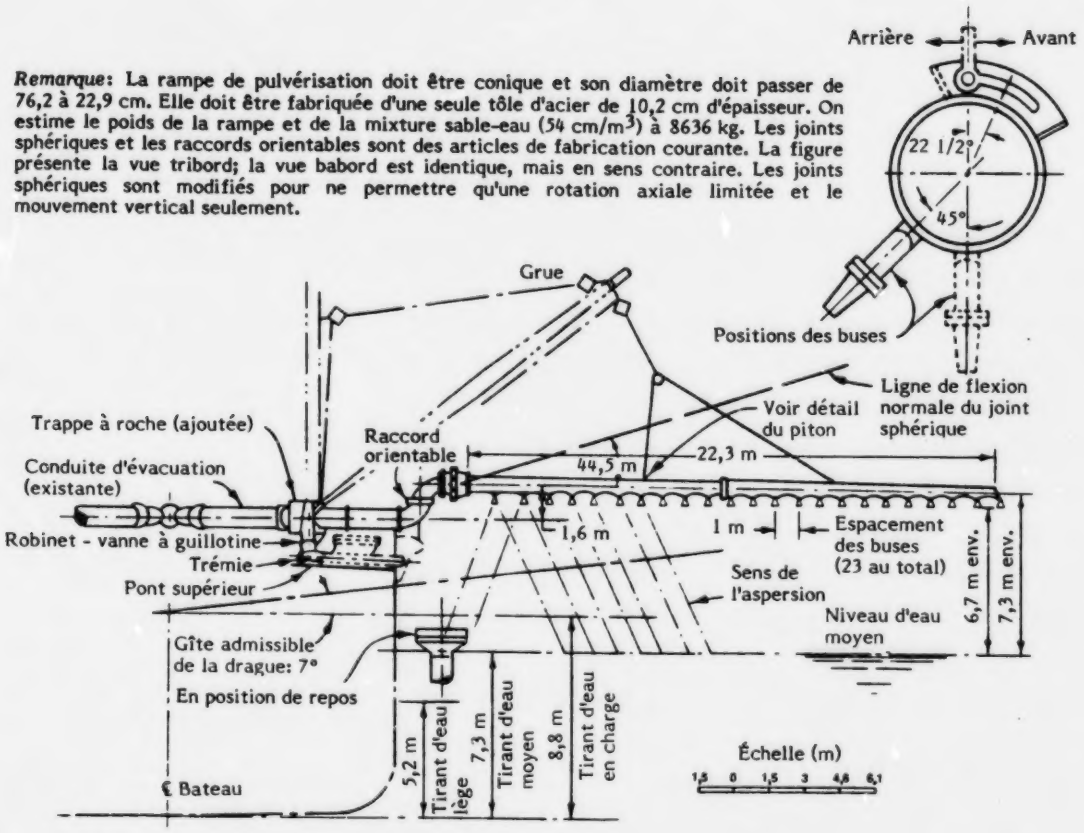


FIGURE 18 SCHÉMA DU RÉSEAU DE CANALISATIONS PROPOSÉ POUR UNE DRAGUE PORTEUSE (Hand *et al.*, 1978)

Rampes de pulvérisation. Les matériaux de recouvrement (sous forme de boues liquides) sont pulvérisés à la surface de l'eau. La fraction solide des boues coule rapidement et se dépose sur les sédiments pollués. On peut utiliser une drague porteuse munie d'une pompe d'évacuation directe équipée de rampes de pulvérisation à babord et à tribord et de grues pour leur manutention. La figure 19 présente un aménagement proposé de rampes de pulvérisation. Pour le tirant d'eau, les exigences minimales sont pareilles à celles indiquées pour le rejet par pompage. Les profondeurs maximales de travail dépendent des courants et des vagues lors des opérations de recouvrement.

Le modèle proposé est conçu pour fonctionner avec une boue liquide contenant entre 10 et 20 p. 100 de solides (en poids) obtenue en pulvérisant de l'eau dans les trémies et en procédant au mélange à l'entrée de la pompe. La largeur couverte par une rampe est de 26 m. Le temps nécessaire pour recouvrir les sédiments pollués est fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse de décantation des matériaux de recouvrement utilisés.



***Remarque*:** La rampe de pulvérisation doit être conique et son diamètre doit passer de 76,2 à 22,9 cm. Elle doit être fabriquée d'une seule tôle d'acier de 10,2 cm d'épaisseur. On estime le poids de la rampe et de la mixture sable-eau (54 cm/m^3) à 8636 kg. Les joints sphériques et les raccords orientables sont des articles de fabrication courante. La figure présente la vue tribord; la vue babord est identique, mais en sens contraire. Les joints sphériques sont modifiés pour ne permettre qu'une rotation axiale limitée et le mouvement vertical seulement.

FIGURE 19 ARRANGEMENT PROPOSÉ DE RAMPE DE PULVÉRISATION (Hand *et al.*, 1978)

Le coût estimatif des modifications à apporter à une drague de type Geothals pour permettre l'utilisation d'une rampe de pulvérisation s'élèverait à environ 200 000 $ ($ U.S. de 1978). Ce coût ne comprend pas les instruments de navigation de haute précision nécessaires pour opérer dans un secteur très précis. Le coût de cette technique est évalué à 3500 $/ha.

Le principal inconvénient en cas d'une urgence est le temps requis pour obtenir une couche de recouvrement adéquate. Par exemple, on a estimé qu'il faudrait 430 heures, c'est-à-dire trois semaines, pour recouvrir une superficie de 0,6 x 0,3 km d'une couche de 15,24 cm de sable si celui-ci doit être extrait à 16 km du site de déversement (Hand *et al.*, 1978). Cela limite considérablement la valeur de ce système comme technique d'urgence.

4.4.2 Drague hydraulique/barge-chaland. - Plusieurs méthodes sont possibles lorsqu'on utilise des barges, des chalands et des combinaisons de ces moyens pour la mise en

place des matériaux de recouvrement. On peut ainsi opter pour le rejet au-dessus de l'eau avec une drague hydraulique, le déversement ponctuel ou le pompage des matériaux chargés sur des chalands, ou encore l'utilisation de dispositifs immergés. Ces méthodes sont très utiles dans des zones confinées car certains chalands et barges permettent de naviguer dans une hauteur d'eau de 60 cm seulement, ce qui est impossible avec les dragues porteuses en raison de leur tirant d'eau nettement plus élevé.

Le principal inconvénient des dragues hydrauliques, des canalisations immergées et du pompage est qu'on ne peut que très rarement s'en servir en eaux libres; des vagues d'une amplitude aussi faible que 0,9 m peuvent les rendre temporairement inopérantes. Les barges et les chalands remorqués ayant tendance à être plus stables, leur utilisation serait un peu moins limitée par l'état de la mer. On prétend que les dragues à désagrégateur munies d'un compensateur de houle peuvent fonctionner dans des vagues de 1,8 m.

Rejet direct. Pour le rejet direct des matériaux extraits, on utilise habituellement une drague hydraulique conventionnelle. Aucun équipement spécial ne serait requis. Cette méthode semblerait convenir particulièrement pour des eaux abritées. Les matériaux de recouvrement sont extraits et redéposés directement sur les sédiments pollués.

La figure 20 présente un schéma d'une barge aménagée à cette fin. Une canalisation flottante achemine les matériaux de dragage vers une drague hydraulique, d'où ils sont rejetés directement au-dessus des sédiments à recouvrir. Ce dispositif permet d'oeuvrer dans des eaux relativement peu profondes alors que la drague utilisée pour l'extraction peut se trouver jusqu'à 6 km du point de rejet. Les profondeurs minimales de travail varient de 1 m pour un bec de 15 cm à 4,0 m ou plus pour des dragues dont le bec d'élinde est supérieur à 70 cm. La profondeur maximale est normalement de 20 m, à moins d'utiliser des canalisations immergées, auquel cas il est possible d'atteindre des profondeurs de 90 m.

Les caractéristiques de décantation des matériaux de recouvrement varient en fonction des caractéristiques et de la cohésion des particules. Un matériau à grain grossier se dépose directement au fond tandis que les limons et les argiles forment souvent une coulée boueuse et un panache de turbidité dans la colonne d'eau. Des études sur la dispersion de résidus de dragage sablonneux ont révélé qu'il n'y avait aucun écoulement de sédiments sous la surface, et qu'il faut par conséquent que l'extrémité de la conduite d'évacuation des matériaux soit déplacée au-dessus du site à recouvrir sans quoi le recouvrement ne sera pas efficace. Les coulées boueuses formées par les sédiments

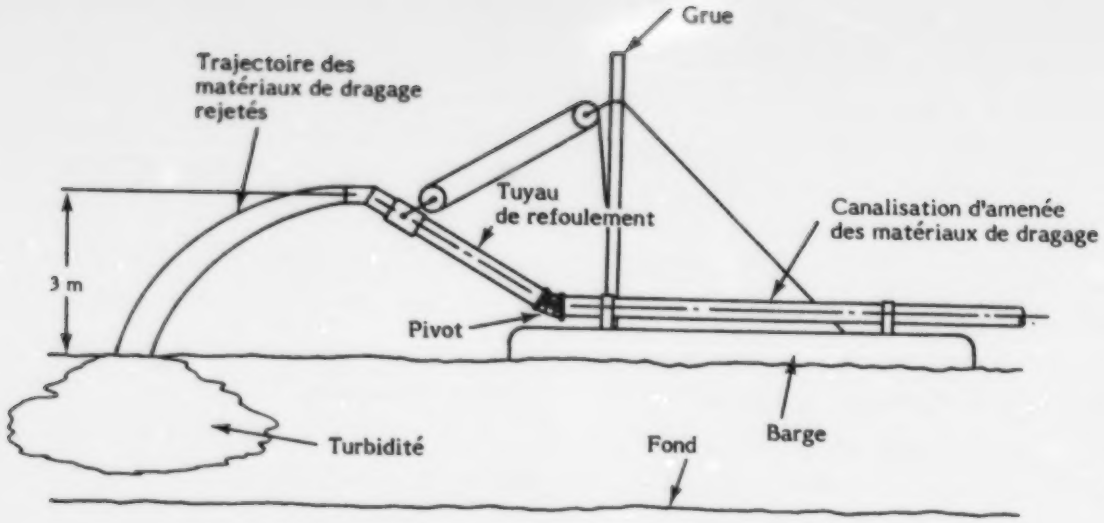


FIGURE 20 BARGE ÉQUIPÉE POUR LE REFOULEMENT DES MATÉRIAUX PAR CANALISATION OUVERTE (Hand *et al.*, 1978)

cohérents et à grains fins peuvent se déplacer latéralement sur des distances de mille mètres ou plus. Ces coulées boueuses peuvent atteindre des épaisseurs de 0,6 m et franchir des dépressions, remonter et se déplacer à contre-courant. Des courants forts (vitesse non précisée dans la documentation) peuvent empêcher la formation de courants de densité par brassage turbulent et entraîner les matériaux hors de la zone à recouvrir avant qu'ils puissent se déposer sur les sédiments pollués.

Les coulées boueuses sont efficaces pour recouvrir des matières déversées, à condition d'être bien contrôlées. On y parvient en utilisant des digues. Le déplacement de la coulée boueuse est alors limité à la zone spécifique à recouvrir. Les digues atténuent de plus les courants extérieurs et les sources de turbulence sur la zone touchée.

Rejet par système immergé. On utilise pour cela des dragues hydrauliques ou des chalands de modèles courants et les précautions à prendre sur le plan de l'environnement sont celles mentionnées pour ces bateaux ou constructions flottantes. L'utilisation d'une canalisation immergée ou d'un système de diffusion spécialement conçu et monté sur barge présente plusieurs avantages par rapport au rejet direct des matériaux au-dessus de l'eau; la mise en place des matériaux de recouvrement est mieux contrôlée, cela provoque moins de turbidité et on peut mieux prévoir de quelle façon les matériaux se déplaceront sur le fond.

On peut amortir le choc en faisant varier la hauteur de chute des matériaux de recouvrement ainsi que leur débit. Les risques d'affouillement et de remise en suspension seront considérablement réduits.

Pour assurer une couverture parfaite des sédiments pollués, la barge doit être déplacée au fur et à mesure des besoins à l'aide de bateaux de service et de dispositifs d'amarrage. La barge doit être déplacée plus fréquemment lorsque du sable est utilisé comme matériau de recouvrement car il tend à former des tas.

La documentation consultée propose trois systèmes immergés pour l'épandage des matériaux de recouvrement: diffuseur, tube à trémie télescopique et épandeur de sable.

Diffuseur. Le diffuseur est équipé d'un déflecteur radial qui ralentit la vitesse d'évacuation. Le diffuseur (figures 21 et 22) est soulevé ou abaissé à l'aide d'une grue montée sur la barge. La difficulté d'abaisser et de contrôler le diffuseur limite son utilisation à des profondeurs maximales de 90 m, selon les conditions du milieu. Cet appareil devrait permettre de mieux contrôler la mise en place des matériaux de recouvrement et de réduire la turbidité et l'affouillement. Des phénomènes semblables aux coulées de boue ne sont pas censés se produire, mais on peut s'attendre à la formation de buttes et de bancs.

Tube à trémie. Un tube à trémie télescopique a été utilisé dans des essais d'épandage de sable dans la baie d'Hiroshima au Japon (figure 23). Ce tube se fixe à l'avant de la barge; la profondeur peut être ajustée et le rendement maximal est de 2000 m^3/h. La turbidité était pratiquement nulle (teneurs en matières solides en suspension toujours inférieures à 5 ppm lors de ces essais). Le mode d'épandage considéré le meilleur (évalué d'après l'épaisseur de la couche de sable, l'uniformité du recouvrement, le remuement, la décantation et la turbidité) est celui qui consistait à déposer deux couches successives de matériaux de recouvrement sur les sédiments pollués, en lâchant les matériaux entre 10 et 12 m du fond.

Épandeur de sable. Le sable est aspiré de la barge, mélangé avec de l'eau (pour faciliter l'épandage d'une couche mince) et déversé sur les sédiments pollués par un tuyau d'épandage. Ce dispositif a également été testé lors des essais conduits dans la baie d'Hiroshima (figures 24 et 25). On avait pour l'occasion érigé des digues en coquilles d'huîtres au moyen d'une drague à benne preneuse. L'épandeur de sable s'est avéré plus précis placé à 10 m du fond qu'à 15 m. On n'a pas observé de remise en suspension des sédiments benthiques au-dessus de 1,5 m du fond ni décelé d'inégalités apparentes de la couche de couverture.

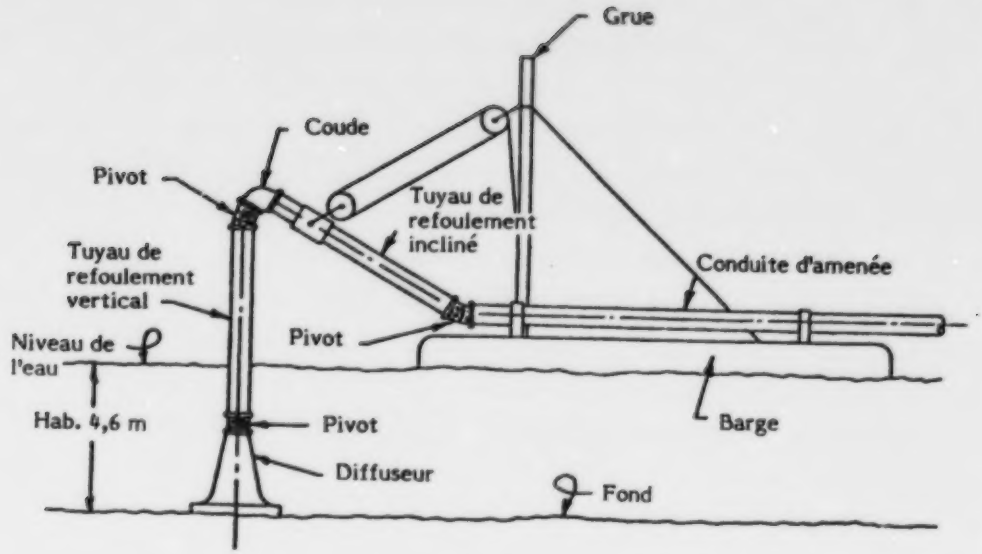


FIGURE 21 BARGE ÉQUIPÉE D'UN DIFFUSEUR (Hand *et al.*, 1978)

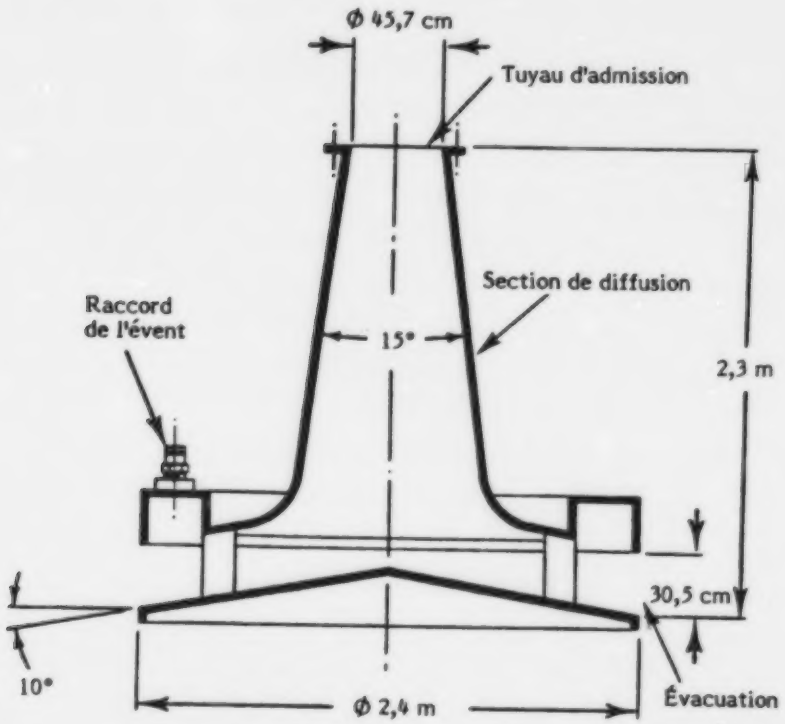


FIGURE 22 DÉTAIL DU DIFFUSEUR (Hand *et al.*, 1978)

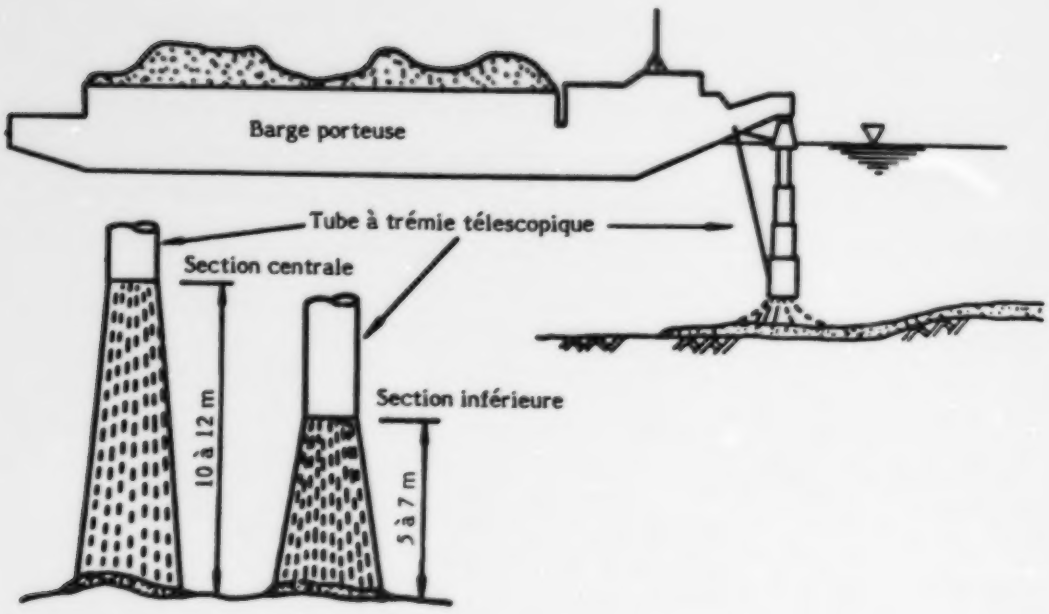


FIGURE 23 BARGE PORTEUSE ÉQUIPÉE D'UN TUBE À TRÉMIE TÉLESCOPIQUE (Togashi, 1981)

Méthodes de déchargement ponctuel (barge et chaland). Pour le déchargement ponctuel, on se sert d'une drague hydraulique, de barges et de chalands. Les résidus de dragage sont pompés dans une barge ou un chaland que l'on remorque ensuite jusqu'au site à recouvrir, et les matériaux sont tout simplement déversés.

La capacité des barges et des chalands varie de 150 à 3000 m^3, et leur tirant d'eau, de 2 à 6 m. En raison du tirant d'eau, le déchargement ponctuel ne peut convenir que pour des hauteurs d'eau minimales de 3 à 4 m, tout dépendant de la capacité, du type de barge ou de chaland (à clapets ou basculeur), de l'état de la mer, etc.

Les matériaux ainsi déversés devraient se déposer sur le fond de façon semblable à celle décrite pour la drague porteuse équipée d'un tube à trémie. On doit particulièrement s'assurer que les matériaux déversés recouvriront parfaitement les sédiments pollués et définir quels impacts les matériaux déversés peuvent avoir lorsqu'ils touchent le fond. Sous l'effet du choc, il peut y avoir affouillement des matériaux et remise en suspension des sédiments.

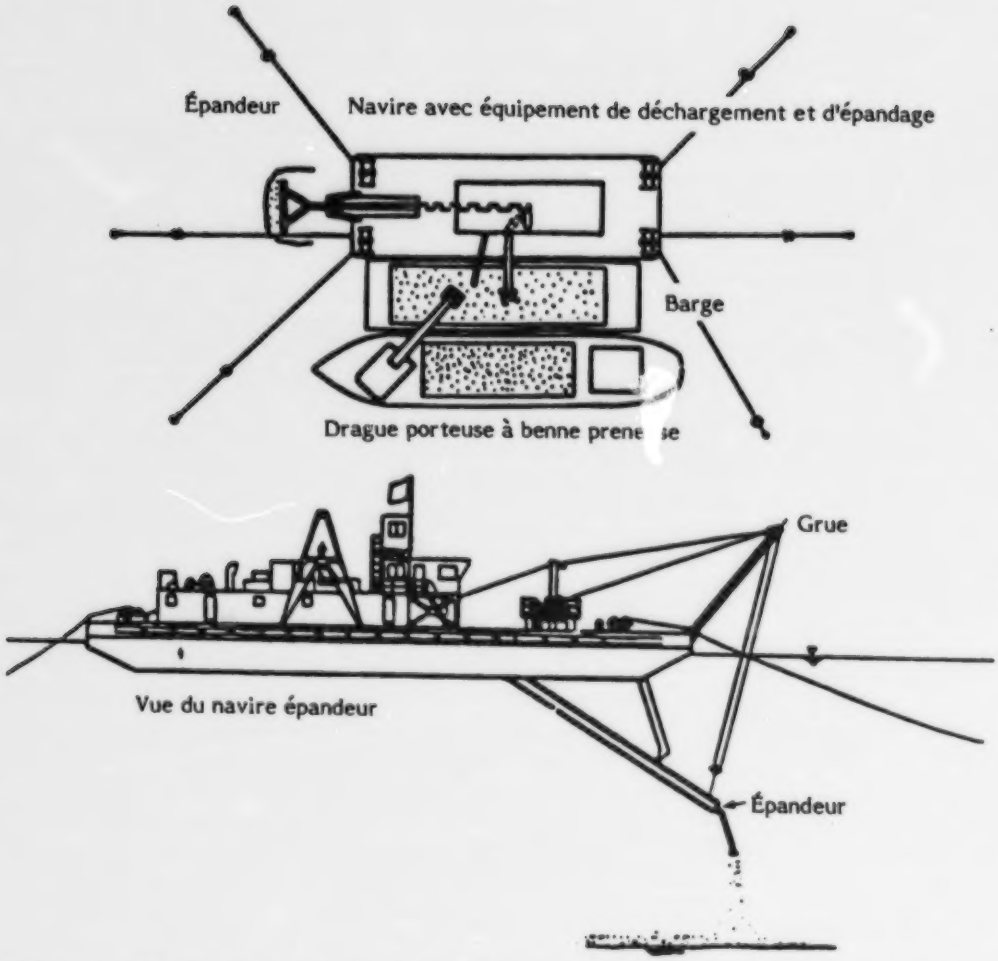


FIGURE 24 RECOUVREMENT DE SABLE PAR DÉCHARGEUR DE BARGE ET ÉPANDEUR DE SABLE (Kikegawa, 1981)

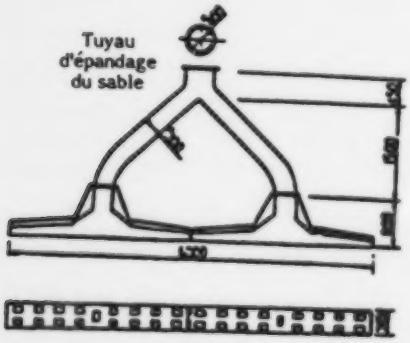
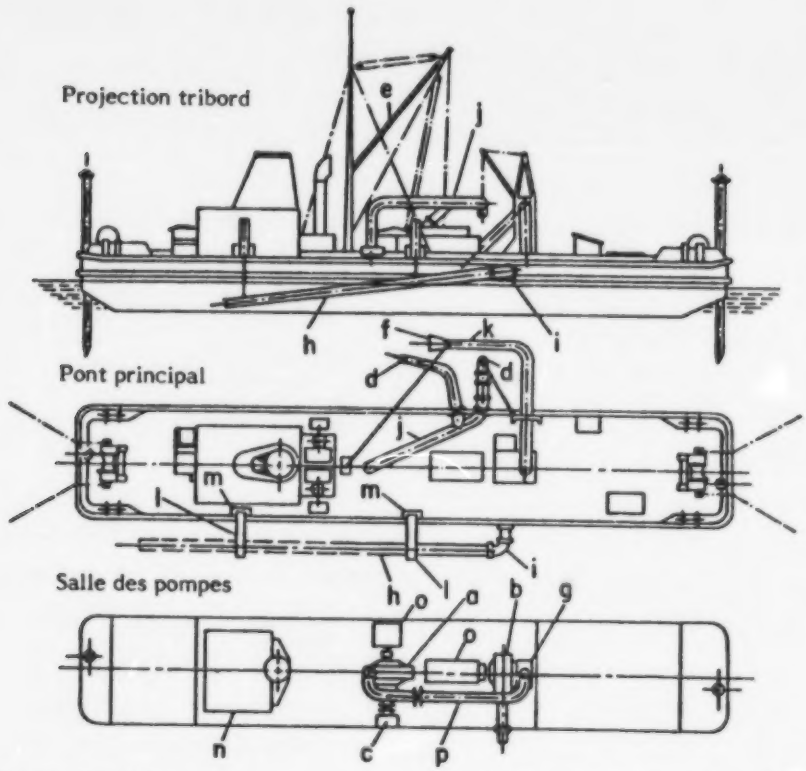


FIGURE 25 DÉTAIL DE L'ÉPANDEUR (Kikegawa, 1983)

Méthodes de pompage. Le déchargement d'une barge par pompage des matériaux dans une conduite débouchant à 1 m et moins du fond atténue les problèmes de remise en suspension des sédiments. La figure 26 illustre une barge de déchargement par pompage.

Pour des travaux de recouvrement de sédiments pollués, la barge munie de l'équipement de pompage est amarrée avec, sur ses flancs, des chalands et des barges chargés de matériaux. Les matériaux sont déchargés par pompage hydraulique dans un



a. Pompe de pulvérisation
b. Pompe reliée à l'équipement de dragage
c. Prise d'eau
d. Pulvérisateurs
e. Grues
f. Bec d'élinde
g. Puits à déblais
h. Conduite d'évacuation
i. Coude d'évacuation, à carène pivotante
j. Conduite d'eau pulvérisée
k. Tuyau d'aspiration
l. Bossoirs d'évacuation
m. Treuils
n. Groupe diesel
o. Moteurs hydrauliques
p. Tuyau d'amorçage

FIGURE 26 AMÉNAGEMENT PROPOSÉ POUR LA BARGE DE POMPAGE (Hand *et al.*, 1978)

tuyau de refoulement semblable à celui de l'élinde d'une drague porteuse, ou modifié pour s'adapter au diffuseur présenté à la figure 21.

Le déchargement par pompage peut se faire selon divers plans de travail. Par exemple, la barge peut être amarrée de façon à se déplacer en suivant un tracé précis. On peut aussi utiliser une barge de déchargement automotrice qui pourrait remorquer les chalands chargés, méthode qui permet d'opérer en continu.

L'utilisation de limons ou d'argiles comme matériau de recouvrement peut nécessiter la mise en place de barrages immergés pour contrôler la coulée de boue. Une telle mesure est superflue lorsqu'on utilise du sable ou du gravier. En revanche, ces matériaux nécessitent un positionnement et un déplacement précis de la barge de déchargement si l'on veut que la couche de couverture soit parfaite. Dans les endroits où le relief du fond est accidenté ou ceux où il faut naviguer avec une très grande précision, cette technique peut présenter des problèmes.

Une barge de pompage de 45 x 10 m coûte environ 3,5 $ millions ($ U.S. de 1978). On peut cependant s'en tirer à moins en modifiant une drague suceuse hydraulique. Dans ce cas, le seul coût auxiliaire est celui de l'équipement de déchargement des chalands.

4.4.3 Autres méthodes de mise en place

Dragues mécaniques. Il existe deux principaux types de dragues mécaniques: la drague à benne à mâchoires généralement utilisée pour des sédiments tendres, et la drague à cuiller généralement utilisée pour les sédiments durs. En raison des difficultés de reprise du matériau de recouvrement dans le chaland, la drague à cuiller ne se prête pas bien à ce genre d'opération à moins qu'on ne l'utilise avec une benne à mâchoires.

Avec des barges ou des chalands, les matériaux de recouvrement peuvent être déposés en petits monticules juxtaposés à l'aide d'une benne à mâchoires. La turbulence et la remise en suspension des sédiments ne devraient pas causer de problème; une certaine quantité de matériaux est néanmoins perdue dans la colonne d'eau lors de la descente de la benne, à moins que celle-ci soit étanche. Les principaux inconvénients de cette méthode sont le temps requis pour mettre en place la couche de recouvrement et l'inégalité de celle-ci. Ce genre d'équipement ne peut être utilisé qu'en zones riveraines et portuaires abritées et à des hauteurs d'eau maximales de 30 à 40 m.

Systèmes de dévidoirs à rouleaux. Ces systèmes ont été proposés pour l'application à chaud ou à froid de membranes de polymère (Widman et Epstein, 1972). Ils n'ont jamais été testés sur le terrain.

Trois systèmes ont été pris en considération: les systèmes de pose de polymères coagulables, d'adhésifs à chaud et de pellicules préformées vendues sur le marché. Ces trois systèmes sont semblables et consistent en un dispositif monté sur des barges remorquées (figures 27 et 28).

Les systèmes de membranes vendus sur le marché sont en théorie faciles à utiliser mais coûtent cher. Une membrane de 6 m de largeur peut être déployée à des

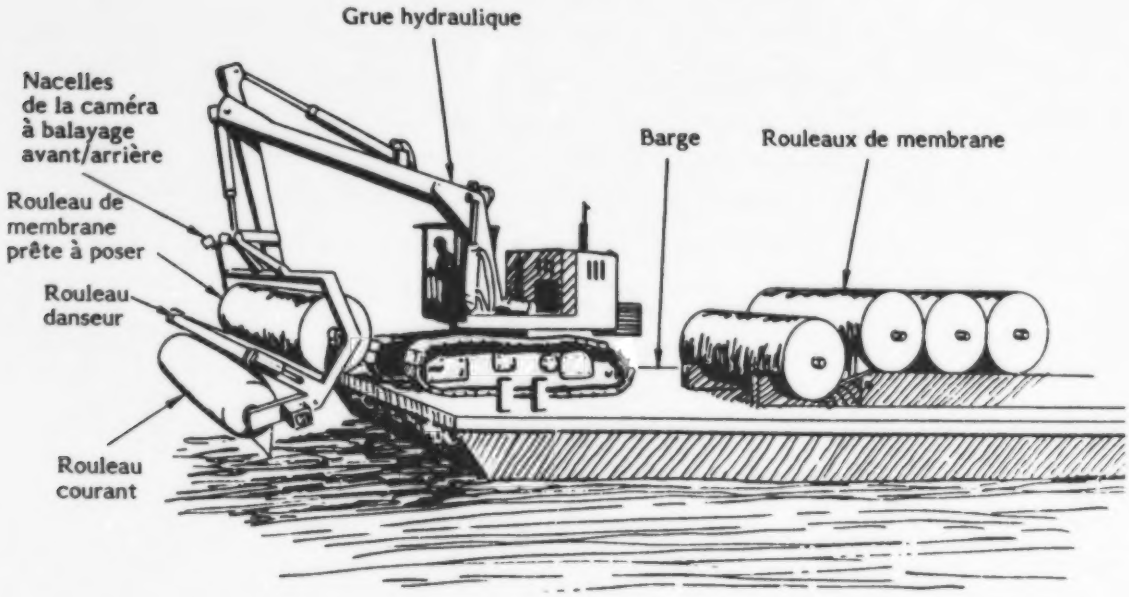


FIGURE 27 VUE DÉTAILLÉE DU DISPOSITIF DE POSE DE MEMBRANE PROTECTRICE

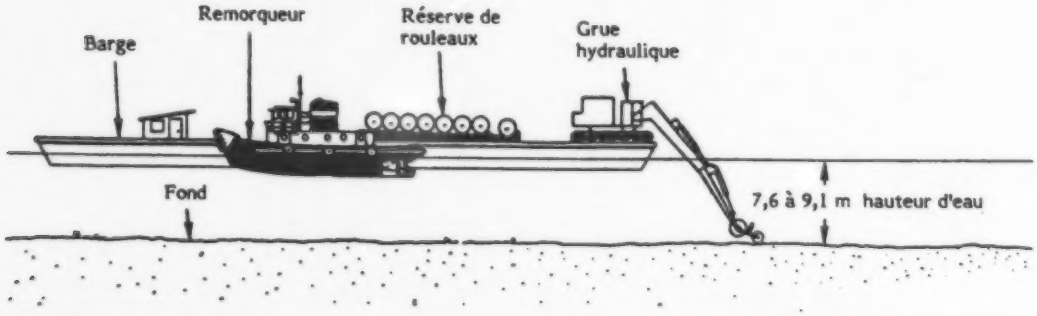


FIGURE 28 VUE D'ENSEMBLE D'UNE BARGE AVEC DISPOSITIF DE POSE DE MEMBRANE À BORD (Hand *et al.*, 1978)

profondeurs "moyennes" (7,6 à 9,1 m) sur un terrain relativement plat ou légèrement accidenté. Le problème le plus évident avec ce genre de système est que les gaz émis par les sédiments forment des bulles sous la pellicule; il faut aussi penser au poids que peuvent supporter les membranes et aux risques de perforation.

Systèmes de mélange de produits chimiques en profondeur. Des sédiments cohérents de faible granulométrie sont mélangés à du ciment ou de la chaux pour la stabilisation des sédiments benthiques. Deux méthodes ont été élaborées au Japon: la "Méthode de mélange de ciment en profondeur" qui utilise du ciment portland et la "Méthode de mélange de chaux vive en profondeur". On procède par formation de colonnes de sédiments mélangés qui durcissent et augmentent les caractéristiques de charge du fond.

La figure 29 présente le système d'injection et de mélange du ciment en profondeur. La boue liquide à base de ciment est injectée par une tubulure enfoncée dans les sédiments. La zone à traiter est quadrillée de colonnes de sédiments durcis séparées par des sédiments non traités. On a conduit des essais dans un port à des profondeurs d'injection de 9,1 m.

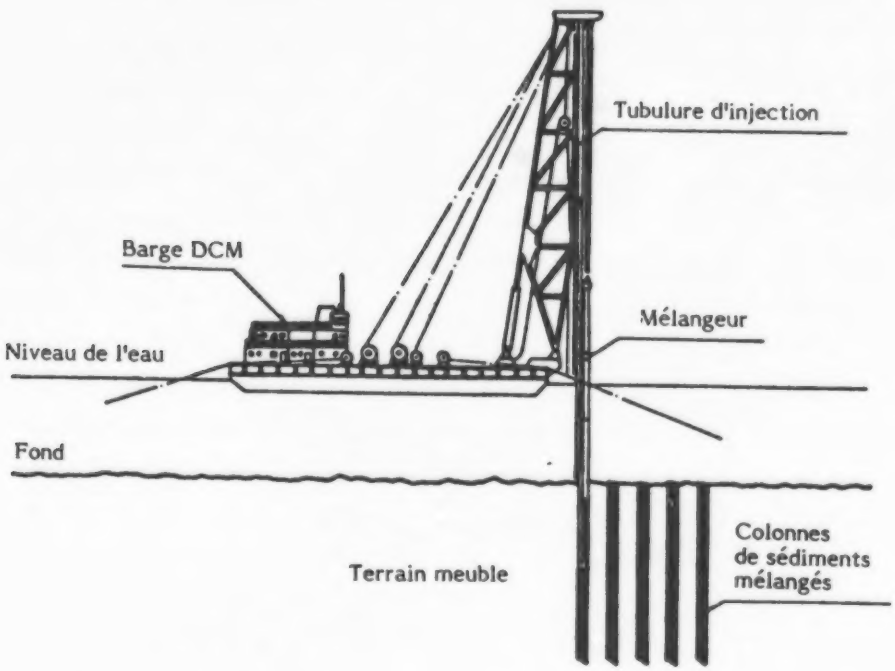


FIGURE 29 CONSTRUCTION PAR MÉTHODE DE MÉLANGE CHIMIQUE EN PROFONDEUR (Hand *et al.*, 1978)

L'application de cette méthode n'est possible qu'en zones riveraines et portuaires abritées et lorsque les conditions météorologiques sont assez bonnes. En raison du temps requis pour rassembler l'équipement et le matériel nécessaires, il se pourrait que le site qu'on envisage traiter de cette manière doive subir un traitement d'urgence préalable.

5 PROCÉDÉS DE TRAITEMENT PHYSIQUE

5.1 Absorption/Adsorption

Les liquides sont soit absorbés soit adsorbés. Dans le processus d'absorption, le liquide est emprisonné mécaniquement dans les pores et les interstices de la matière absorbante par action capillaire. Dans le cas de l'adsorption, une faible liaison chimique est formée entre le liquide et la surface des particules adsorbantes.

On a longtemps considéré ces processus comme l'une des méthodes de traitement les plus prometteuses pour les déversements de matières dangereuses dans l'eau. Malgré leur usage répandu pour le nettoyage des déversements d'hydrocarbures, leur application pour d'autres matières dangereuses a été assez rare et n'a pas fait l'objet d'études approfondies.

Il y a trois catégories de sorbants: organiques naturels, inorganiques naturels et synthétiques. Les sorbants organiques naturels comprennent des produits comme les plumes, la laine et la cellulose. Dans les sorbants inorganiques naturels, on trouve l'argile, la terre à diatomées et la perlite. Le polyuréthane, le charbon actif et le polypropylène sont des sorbants synthétiques. Les deux premières se différencient par l'origine, le coût et l'efficacité des produits. Les sorbants naturels et synthétiques peuvent être traités pour améliorer leur souplesse d'utilisation et leur pouvoir de sorption; des sorbants naturels traités deviennent des sorbants synthétiques.

Le pouvoir de sorption est fonction de la viscosité du liquide déversé et des caractéristiques du sorbant. Si la viscosité est élevée, le liquide adhère mieux aux molécules du sorbant, et partant, le pouvoir d'adsorption est meilleur. Par contre, une viscosité élevée empêche l'absorption du liquide dans les capillaires et les interstices du sorbant. Étant donné que la viscosité est fonction de la température, la température ambiante aura un rôle déterminant dans le choix du sorbant.

Si les sorbants naturels sont généralement plus faciles à se procurer et moins chers que les sorbants synthétiques, ces derniers ont habituellement un pouvoir de sorption et une souplesse d'utilisation supérieurs. Il existe relativement peu de données sur le pouvoir de sorption des divers produits. Il semblerait que ce pouvoir aille en augmentant avec le prix sans toutefois que l'augmentation soit proportionnelle; les sorbants les moins chers sont souvent les meilleurs du point de vue coûts/avantages.

Un point important est la compatibilité. Certaines combinaisons sorbant/liquide peuvent causer des explosions, des incendies ou produire des vapeurs toxiques. Faute de données, nos connaissances sur la compatibilité entre les liquides dangereux et les sorbants sont limitées.

L'EPA étatsunienne a dressé une liste complète de la compatibilité et du pouvoir de sorption de paires liquide/sorbant représentatives (Melvold *et al.*, 1987).

5.1.1 Application sur des produits chimiques ayant coulé. - La documentation spécialisée donne deux avis différents sur la valeur des sorbants pour pallier aux effets de produits chimiques ayant coulé. Selon Akers *et al.* (1981):

> "L'utilisation d'absorbants pour le traitement de produits déversés dans l'eau sera probablement limitée aux substances qui sont insolubles et qui flottent à la surface de l'eau... les liquides organiques denses qui coulent au fond de l'eau ne peuvent être récupérés efficacement par les absorbants. Le problème est d'établir le rapport entre le degré de solubilité du produit organique déversé et les possibilités de récupération du produit ayant coulé au moyen d'absorbants synthétiques, déterminées par une cote "bonne", "médiocre" et "faible".

D'autres auteurs (Hand *et al.*, 1978; Soden et Johnson, 1978) sont d'avis que l'utilisation de sorbants pour récupérer des PCC est une technique prometteuse d'atténuation des impacts écologiques. D'après eux, les sorbants seraient tout particulièrement efficaces lorsque le déversement s'est produit dans des eaux non navigables, des zones portuaires d'accès difficile et le long ou à proximité des rives. Le meilleur rendement serait obtenu dans les eaux peu profondes où les problèmes liés à l'épandage des sorbants, à la précision de l'épandage et à la récupération des sorbants seraient minimisés. Il faut souligner que cette solution n'efface pas un déversement; elle ne fait qu'en atténuer les impacts écologiques.

La documentation consultée ne mentionnait aucun cas où l'on se serait servi de sorbants dans ce but précis.

5.1.2 Types de sorbants

Sorbants organiques naturels. Les sorbants organiques naturels comprennent les produits comme la cellulose (paille, sciure de bois, écorce, tourbe), les plumes et la laine. Bien qu'utilisés depuis des années pour le nettoyage des hydrocarbures qui flottent, il existe très peu de données sur leur pouvoir de sorption des autres liquides organiques. La seule chose dont on est certain est que le pouvoir de sorption et de rétention des sorbants organiques tend à être meilleur avec des liquides organiques que des liquides inorganiques.

On suppose que les sorbants naturels ne sont pas toxiques, bien qu'il n'existe aucune donnée confirmant cette hypothèse. Les matières organiques très dégradables peuvent cependant constituer une menace pour l'environnement en raison de leur DBO élevée. Il faut récupérer immédiatement le sorbant naturel souillé étant donné son faible pouvoir de rétention.

L'emploi des sorbants organiques naturels est limité par le fait que leur taux de désorption rapide exige la récupération immédiate du sorbant souillé et qu'on ne peut les utiliser tels quels. Ils doivent en effet être préparés en paquets lestés sans quoi ils ne pourraient venir en contact avec les produits chimiques ayant coulé.

Le principal avantage des sorbants organiques naturels est leur abondance. Il est la plupart du temps possible de s'en procurer même dans les régions rurales et urbaines isolées, et sous plusieurs formes: en granules ou particules, en sacs ou comme barrages.

Ce sont les sorbants les moins chers. Leur prix varie de 0,02 $ à 0,04 $ le kilo ($ U.S. de 1984) (Unterberg *et al.*, 1984). Le lecteur trouvera à l'annexe B de plus amples informations sur le coût des sorbants et les fournisseurs.

Sorbants inorganiques naturels. Les sorbants inorganiques naturels comprennent les argiles, les diatomées, les terres à foulon, la perlite, la vermiculite, les argiles expansées et la zéolite naturelle. Les argiles sont réservées aux déversements sur terre. Les absorbants minéraux conviennent pour absorber les hydrocarbures, les acides et leurs dérivés, les alcools, les aldéhydes, les cétones, les esters et les composés azotés.

Les argiles ne sont pas recommandées pour les déversements dans l'eau, sauf si l'on est en présence de phénols. Dans ce cas, l'argile sera placée dans des pochettes lestées pour s'assurer qu'elle viendra en contact avec les phénols déposés sur le fond.

Les sorbants inorganiques sont très répandus sur le marché, mais seulement sous forme particulaire.

Les sorbants inorganiques naturels coûtent guère plus cher que les sorbants organiques naturels. Leur coût varie de 0,04 $ à 0,08 $ le kilo ($ U.S. de 1984) (Unterberg *et al.*, 1984).

Sorbants synthétiques. Les sorbants synthétiques sont spécialement fabriqués pour absorber les liquides organiques tout en repoussant l'eau. Ils ont été spécialement conçus pour la récupération de matières organiques, et ne sont donc pas censés être efficaces pour absorber les liquides inorganiques. Les substances polaires hydrosolubles ou miscibles à l'eau sont considérées comme difficiles à récupérer avec des sorbants synthétiques.

Les matières synthétiques ne sont pas toxiques et ne présentent aucun danger lorsqu'elles ne sont pas polluées. Un autre avantage des sorbants synthétiques est que la plupart peuvent être régénérés par pressage et essorage. Il faut cependant veiller à ce que la régénération ne donne pas lieu au retour accidentel du polluant dans l'eau.

La flottabilité naturelle des sorbants synthétiques peut poser certaines difficultés si le produit à récupérer était un PCC. Il serait probablement nécessaire de les lester.

Le coût des polymères synthétiques varie de 5 $ à 9 $ le kilo ($ U.S. de 1984) (Unterberg *et al.*, 1984). Le pouvoir de sorption de ces produits a tendance à augmenter avec le coût; l'augmentation n'est toutefois pas proportionnelle.

Résines macroréticulaires. Les résines macroréticulaires sont des polymères à structure spongieuse ou réticulée, produits par réticulation de polymères à chaîne linéaire. Ces résines peuvent avoir des propriétés absorbantes aussi bien qu'adsorbantes et d'échange ionique.

Les résines macroréticulaires absorbent et adsorbent les liquides, les solutés et les matières solides dissoutes. Elles absorbent et adsorbent les phénols et l'aldrine; leur spectre d'utilisation se situe entre celui de la mousse de polyuréthane et celui du charbon actif. La documentation consultée ne fait mention d'aucune opération de nettoyage où l'on aurait utilisé des résines macroréticulaires pour récupérer les produits déversés et pratiquement aucune recherche n'a été faite jusqu'à présent pour l'utilisation à grande échelle de ces résines.

Nous ne connaissons pas encore très bien à quel point ces résines peuvent être régénérées. La désorption thermique est impossible en raison de leur sensibilité thermique aux liaisons moléculaires et à l'oxydation. Unterberg *et al.* (1984) considèrent que la désorption par élution, air pulsé et sous vide, avec récupération et élimination du sorbat, pourraient constituer des solutions rentables de régénération. Ces résines ne peuvent actuellement pas être régénérées sur place.

Il serait probablement difficile de se procurer ces résines dans de brefs délais en raison de la faible demande. Très peu de recherches ont été faites sur leur utilisation pour le nettoyage de produits déversés et on ne connaît pas très bien leur capacité de régénération.

Les résines macroréticulaires ne se trouvent pas aisément dans le commerce; il est possible cependant de s'en procurer chez Rohm and Haas Co., de Philadelphie, PA, sous forme de particules ou de coussins absorbants.

Polyuréthane. Le polymère de polyuréthane est produit sous forme de particules à pores ouverts, à pores fermés et de particules non poreuses. Le polyuréthane n'a pas une gamme d'utilisation aussi étendue que le charbon actif, bien qu'il puisse absorber divers produits chimiques. Le polyuréthane a un pouvoir de sorption qui varie entre 0,1 et 80 fois son propre poids, pouvoir qui est proportionnel à la porosité de volume ouvert et à la viscosité ainsi qu'au pouvoir mouillant de la substance chimique dangereuse déversée.

Les mousses de polyuréthane pourraient, semble-t-il, être fabriquées sur place, ce qui serait avantageux. Elles ne contaminent pas l'eau mais elles peuvent s'enflammer, d'où danger pour les personnes qui les manipulent. Des études ont révélé que le produit

"Absorbent" de Sorbent Science Corp's n'est pas toxique pour les poissons de mer et le fondule de la Californie à des teneurs de 0,5 à 10,0 g/ml (Akers *et al.*, 1981). On n'a observé aucune biodégradation ni dégradation chimique du produit dans l'eau de mer.

La mousse de polyuréthane pouvant être fabriquée et régénérée sur place, on évite les problèmes de transport en vrac. On peut généralement facilement s'en procurer dans les grandes régions métropolitaines sous forme de mousse, de tapis, de courroies, de coussins et de feuilles. Les fabricants sont: BASF Wyandotte Corp., Industrial Chemicals Group et B F Goodrich Canada Inc.

Polypropylène. Le polypropylène est un polymère d'hydrocarbures à chaîne linéaire. Il est oléophile et peut donc absorber des liquides ou des solutés covalents. Il ne doit pas être exposé aux liquides à solubilisation élevée et il est d'utilisation moins souple que les polyuréthanes. Même s'il n'est pas aussi facile à utiliser que les résines macroréticulaires, il est considéré plus pratique pour le moment étant donné qu'il peut être appliqué et récupéré avec des appareils existants.

Le polypropylène n'est pas considéré comme un polluant de l'eau. Le "Oil Absorbent" de la compagnie 3M, produit à base de polypropylène, est approuvé par l'U.S. Food and Drug Administration (FDA), ce qui indique qu'il n'est pas toxique pour l'homme. Aucun essai n'a encore été fait sur les poissons.

Il est possible de régénérer les sorbants à base de polypropylène. Les tordeurs et les essoreurs de serpillères récupèrent 50 à 75 p. 100 des produits absorbés et le sorbant peut être utilisé 10 à 20 fois. Les tests conduits par la compagnie 3M pour évaluer l'efficacité de récupération par centrifugation montrent qu'il est possible de récupérer 90 p. 100 des hydrocarbures absorbés et de conserver un pouvoir de sorption total élevé.

Le polypropylène se vend en courroies, tapis, coussins et feuilles. Les polypropylènes de poids moléculaire moyen, d'isotacticité et de cristallinité plus élevés ont une meilleure résistance aux solvants et aux produits chimiques. Leur gamme d'application se trouve élargie mais parallèlement les coûts de fabrication augmentent. Les dérivés du polypropylène, le polypropylène recyclé et les déchets de polypropylène conviennent aussi et coûtent moins chers.

Les fabricants de polypropylène sont 3M Canada Inc. et Sorbent Products Co., Inc.

Charbon actif. Le charbon actif (CA) sous diverses formes a été proposé pour adsorber les produits chimiques dangereux solubles dans l'eau, déversés dans les cours d'eau et les voies d'eau.

L'adsorption sur charbon actif permet de récupérer les substances organiques et certaines substances inorganiques présentes dans l'eau. En raison de son abondance, de sa facilité d'application et de sa souplesse d'utilisation, ce produit est considéré de nos jours comme l'agent le plus utile pour atténuer les impacts des produits chimiques déversés dans l'eau. Bauer *et al.* (1976) prétendent que le charbon actif peut être utile pour adsorber presque tous les produits chimiques coulants (PCC) à l'exception de quatre d'entre eux à l'état d'agrégation solide, soit le carbonate de baryum, l'arséniate de plomb, le phosphore, la triéthanolamine et le mercure liquide. Le tableau 21 permet de juger de l'utilité de l'adsorption sur charbon actif pour divers PCC organiques, alors que le tableau 22 récapitule les PCC qui ne sont pas adsorbés par le CA.

TABLEAU 21 VALEUR DE L'ADSORPTION SUR CHARBON ACTIF POUR LES PCC ORGANIQUES (adapté de Akers *et al.*, 1981)

Substance	Adsorption (g de substance/ g de charbon actif)	Réduction de la teneur initiale* (en %)
Acide acétique	0,048	24
Acide acrylique	0,129	64,5
Acide benzoïque	0,183	91,1
Acide formique	0,047	23,5
Aniline	0,15	74,9
Benzaldéhyde	0,188	94,0
Dichlorure d'éthylène	0,163	81,1
Diéthylène-glycol	0,053	26,2
Dipropylène-glycol	0,033	16,6
Éthylène-glycol	0,0136	6,8
Formaldéhyde	0,018	9,2
Hydroquinone	0,167	83,3
Phénols	0,161	80,6
Tétraéthylène-glycol	0,116	58,1
Triéthylène-glycol	0,105	52,3

* Teneur initiale = 1000 mg/l.

TABLEAU 22 PCC NON ADSORBÉS PAR LE CHARBON ACTIF

Arséniate de plomb	Triéthanolamine
Carbonate de baryum	Mercure liquide
	Phosphore

Divers types de charbon actif servent à retenir sélectivement différents produits chimiques dangereux. La surface spécifique du charbon, qui varie de 500 à 1000 m^2/g, peut être acide ou basique, hydrophile ou hydrophobe, oléophile ou oléophobe. La densité réelle, déterminée par la porosité des particules et l'agglomération des particules, peut varier de 0,09 à 2,0 par rapport à l'eau. Le charbon actif, qui a une densité supérieure à un, est particulièrement efficace pour l'adsorption *in situ* de produits chimiques qui ont coulé. Le charbon actif se vend sous plusieurs formes, notamment en poudre, en grains, en tiges, en feuilles, etc.

On ne comprend pas très bien les mécanismes de l'adsorption sur charbon actif, mais des observations empiriques du phénomène d'adsorption ont permis d'établir des généralisations.

Le pouvoir adsorbant du CA vis-à-vis d'un polluant organique est fonction des caractéristiques du CA utilisé, du polluant et de la solution dans laquelle se trouve le polluant. Les facteurs importants comprennent la solubilité du polluant, la taille des molécules, sa polarité, sa densité et sa structure ainsi que le type de CA utilisé, la température et le pH de la solution, et le temps de contact avec le charbon actif. Le taux d'adsorption augmente avec la température et le poids moléculaire et diminue avec la solubilité et la polarité. La structure moléculaire a une influence certaine sur l'adsorption; les groupes hydroxyle, sulphonique et amino réduisent l'adsorption en raison d'une polarité accrue; les composés aromatiques et aromatiques substitués sont généralement plus adsorbables que les composés aliphatiques; les CA fixent mieux les composés amines, éthers et aliphatiques halogénés que les alcools, glycols de faible poids moléculaire ou les groupes aliphatiques non substitués à chaîne directe et à faible poids moléculaire (U.S. Army, 1980). On considère généralement un rapport de dix parties de charbon actif pour une partie de substance déversée comme rapport quasi optimal pour le traitement de la plupart des déversements de substances organiques.

Le taux d'adsorption des composés inorganiques couvre une vaste gamme. L'iode, le permanganate d'or, le dichromate, les sels mercuriques, les arséniates et les sels

d'argent sont adsorbés; les sels fortement dissociés comme le chlorure de sodium ne le sont pas. Certains sels métalliques sont chimiquement réduits en métal élémentaire par le CA. Parmi les divers métaux testés, ce sont les sels de mercure qui ont montré la plus forte affinité pour le CA. Une dose de cinq parties de charbon pour une de mercure, en poids, a donné une récupération supérieure à 99 p. 100 (Ziegler et Lafornara, 1972). La quantité de CA nécessaire pour adsorber une substance donnée doit être calculée à l'aide d'essais.

Le charbon actif se vend en grains (CAG) et en poudre (CAP). Le charbon actif en grains est très abondant sur le marché et constitue la forme la plus utilisée dans le traitement des eaux résiduaires industrielles. Les polluants sont moins rapidement adsorbés par le CAG que le CAP. En revanche, le charbon en grains est plus facile à répandre et à récupérer que la forme pulvérulente. Le charbon en grains ensaché dans du tissu poreux à la façon des sachets de thé est une forme particulièrement utile pour la récupération *in situ* de substances déversées dans l'eau. Le CAG est aussi utilisé dans des lits fixes ou des colonnes.

Le charbon actif en poudre coûte moins cher et peut avoir un pouvoir adsorbant légèrement supérieur au CAG, mais son utilisation dans les déversements de substances dangereuses dans l'eau est limitée. Le CAP présente trois principaux inconvénients: il est difficile à régénérer sans pertes considérables; il peut avoir de faibles caractéristiques de décantation, ce qui le rend difficile à manipuler; et il y a risque de coagulation en présence de MeS. Le charbon actif pulvérulent ne peut être déversé tel quel dans des eaux naturelles, sauf en dernier recours ou lorsqu'on sait où il se déposera et qu'on est certain de pouvoir facilement récupérer le charbon pollué.

On a évalué la toxicité du charbon actif. Ce produit n'est pas toxique pour l'environnement et, à moins qu'il ne soit utilisé en quantité massive, il n'est pas toxique pour les poissons (à des niveaux de turbidité élevés, le CA perturbe le bon fonctionnement des branchies). Il n'y a cependant pas suffisamment de données sur la toxicité vis-à-vis des organismes benthiques. S'il arrive que du CA non récupérable soit appliqué par erreur, cela ne devrait normalement pas avoir d'effets écologiques graves autres qu'un problème temporaire d'esthétique. On a signalé des niveaux de turbidité inacceptables avec des teneurs en CA d'aussi bien 1000 ppm que 10 ppm. Avec la matière organique, la désorption des substances adsorbées ou absorbées n'est pas rapide, excepté pour la phénylurée et les herbicides acides. On ne connaît toutefois pas la rémanence et donc la toxicité à long terme du CA pollué dans une masse d'eau.

Le charbon épuisé doit être remplacé et soit éliminé ou régénéré en vue de sa réutilisation. La régénération à la vapeur est la technique la plus souvent utilisée et peut

se faire sur place avec des systèmes mobiles. Elle n'est cependant rentable que si les quantités journalières dépassent 450 kg (Unterberg *et al.*, 1984). Il est autrement plus économique de remplacer le CA épuisé par du neuf ou de procéder à la régénération dans des installations centralisées.

Quelque soit le traitement envisagé, les facteurs à considérer pour décider du traitement *in situ* sont:

- le temps de réaction;
- les courants;
- l'importance de la turbulence;
- le volume d'eau touché.

Des études en laboratoire ont indiqué que le meilleur rendement est obtenu avec la forme pulvérulente et une turbulence qui permet de maintenir la poudre en suspension. On a cependant constaté que des teneurs aussi faibles que 1000 ppm peuvent causer une turbidité inacceptable. L'addition de floculants pour réduire la turbidité ne donne pas des résultats entièrement satisfaisants; de plus, des bio-essais ont révélé que la boue résultante est toxique pour les poissons. Il faut donc récupérer le charbon par dragage.

Les techniques de flottation par mousse pour récupérer les particules de charbon se sont avérées encore moins efficaces que la floculation. L'ajout de tensio-actifs a permis un taux de récupération de 50 p. 100 seulement. Ces agents peuvent poser des problèmes de pollution secondaire quelquefois aussi importants sinon plus que les substances chimiques déversées à l'origine.

Pour des raisons évidentes, le charbon actif pulvérulent ne peut être déversé tel quel dans des eaux naturelles, à moins que ce soit la seule solution possible, ou que l'on soit assuré que le charbon pollué va se déposer dans un endroit d'où il pourra être facilement récupéré.

Plusieurs études ont porté sur la possibilité de récupérer des substances chimiques dangereuses par injection sous la surface de charbon actif flottant (Ziegler et Lafornara, 1972; Dawson *et al.*, 1977). Le charbon est récupéré en aval en eaux calmes par un barrage et pompé sous forme de boue dans un bassin de stockage. Dawson *et al.* (1977) ont établi que cette technique permettait un taux de récupération de 50 p. 100 pour les substances chimiques dangereuses dissoutes avec un rapport charbon/polluant de 10:1.

Des tests en bécher pratiqués avec une fibre de charbon ressemblant à de la laine d'acier à grain fin en vrac ont révélé que le charbon, sous cette forme, avait un

excellent pouvoir de récupération des polluants dans l'eau. Ces essais ont établi que les fibres de charbon se comparaient à la forme pulvérulente en ce qui concerne le pouvoir de sorption et le taux de récupération. La documentation n'indique pas si ces fibres ont été essayées en conditions réelles.

La résistance et la souplesse des fibres permettent de les comprimer pour le stockage et le transport. Une fois dans l'eau, les fibres gonflent et flottent, celles du dessus affleurant à la surface de l'eau. La densité de ce matériau est très proche de celle de l'eau, ce qui le rend idéal pour la récupération des substances chimiques solubles. On est en droit de croire que de légères modifications permettraient d'obtenir une fibre qui coulerait au fond de l'eau; les substances chimiques déposées au fond pourraient ainsi être adsorbées. Il n'y aurait qu'à récupérer le matériau pollué avec un filet grossier ou un grappin.

Ce matériau possède un grand nombre des propriétés qui expliquent la valeur du charbon actif pour les opérations de nettoyage. Il faut cependant conduire des essais plus poussés et parfaire la mise au point de ces fibres.

Le CA a été emballé dans des sacs de toile poreuse (à la façon des sachets de thé) afin d'éliminer les problèmes de turbidité et d'en faciliter la récupération. L'eau polluée traverse le sac et s'épure. Les mailles du sac sont suffisamment petites pour retenir le charbon. Le rendement de récupération dépend étroitement de la turbulence, de la force et de la direction du vent ainsi que du temps de contact.

Ces sachets conviendraient, semble-t-il, pour récupérer des PCC à condition d'utiliser du CA d'une densité supérieure à 1 ou de lester les sachets pour qu'ils coulent au fond de l'eau. Cette technique n'a pas encore été étudiée.

Les facteurs limitant l'utilisation du CA sont les suivants: le rapport charbon/polluant de 10:1 rend son utilisation impossible dans les gros déversements en raison des quantités considérables de CA requises; la forme pulvérulente ne convient pas pour des opérations *in situ* car elle entraîne une turbidité inacceptable; la faisabilité technique et économique du CA emballé en sacs poreux est douteuse; le CA doit être préalablement mouillé (le mouillage augmente la capacité d'adsorption), opération qui demande 24 h, et il faut pour cela disposer d'une source d'eau propre sur le site; en colonne, le CA perd une partie de son pouvoir adsorbant; l'eau que l'on veut épurer au moyen de CA doit généralement être clarifiée au préalable.

Calgon Canada AC Division et Van Waters & Rogers Ltd. devraient être en mesure de fournir du CA dans un délai de 24 heures; le prix varie de 1,10 $ à 11 $/kg ($ U.S. de 1984) (Unterberg *et al.*, 1984).

Résines échangeuses d'ions. Les résines échangeuses d'ions sont des polymères organiques insolubles, de poids moléculaire élevé, contenant des groupements fonctionnels chargés capables d'échanger des ions positifs ou négatifs en solution aqueuse. Les ions toxiques présents dans des eaux usées sont remplacés par des ions relativement inoffensifs. Les ions sont fixés par des forces électrostatiques aux groupements fonctionnels à la surface de la matière échangeuse d'ions. L'échange d'ions est un moyen efficace d'éliminer les engrais, les colorants, les pesticides, le chlore, la couleur et les matières organiques. La faible solubilité des PCC peut toutefois rendre ces résines inutiles dans bien des cas, et on sait que leur efficacité est moindre en eau salée. Cette technique est par conséquent généralement jugée pas aussi valable que l'épuration au charbon actif.

Il existe une grande variété de résines échangeuses d'ions; toutes ont une affinité pour un nombre restreint de substances chimiques dangereuses. Les capacités d'échange des résines peuvent varier considérablement d'un fabricant à l'autre.

Ces résines sont couramment utilisées dans l'industrie alimentaire et les stations d'épuration. Les règlements d'application de la Food and Drug Administration des États-Unis mentionnent 16 matrices de résines dont l'utilisation est approuvée dans la préparation des aliments et des produits pharmaceutiques. Leur utilisation dans le traitement des déversements ne devrait pas présenter de danger pour l'eau destinée à la consommation. Il existe des preuves à l'effet que les résines échangeuses d'ions non polluées ne devraient pas entraîner des problèmes de toxicité si elles sont abandonnées dans l'environnement; il n'y a cependant aucune information permettant de vérifier la non-toxicité de ces résines pour le poisson et la faune aquatique en général.

On ne connaît pas le taux de désorption des substances dangereuses fixées par des échangeurs d'ions; la plupart des échangeurs d'ions peuvent être régénérés dans des solutions caustiques ou des acides forts, si bien qu'il est très peu probable qu'ils se régénèrent naturellement dans l'environnement. La désorption à la chaleur est impossible en raison de leur sensibilité thermique. Pour des raisons que les auteurs (Unterberg *et al.*, 1984) ne précisent pas, les résines ne doivent pas être régénérées sur place à moins d'une nécessité absolue.

L'échange d'ions est généralement considéré comme un procédé de traitement qui se pratique hors du milieu bien que certaines études *in situ* aient été faites avec des résines ensachées à la façon des sachets de thé et des résines à l'état de particules libres (Hand *et al.*, 1978). Pour le traitement *in situ*, on peut procéder de la même façon que pour le charbon actif. La résine peut être contenue dans des barrages, des coussins et des tapis faciles à récupérer et pouvant être lestés si les substances à récupérer sont des PCC. Les résines échangeuses d'ions rendues flottables par incorporation de microsphères

de verre creux sont censées être efficaces pour la récupération des substances chimiques dangereuses dissoutes dans l'eau (Srinivasan, 1975).

L'échange d'ions en tant que traitement externe exige une filtration préliminaire de l'eau à épurer étant donné que les MeS réduisent considérablement son efficacité. L'effluent doit être continuellement surveillé pour déterminer le point de saturation de la résine. Des unités montées sur remorque ont été utilisées en guise d'installation pilote. Les caractéristiques qui rendent cette méthode prometteuse pour les opérations de nettoyage à la suite de déversements de matières dangereuses comprennent la possibilité de concevoir des unités modulaires peu encombrantes, la rapidité de mise en marche et d'arrêt, la facilité d'entretien, la possibilité d'exploitation par des non-spécialistes et la facilité d'automatisation. Ce processus n'est pas "énergétivore" et la puissance requise pour le pompage peut être fournie pas une génératrice montée à bord.

Il faut remarquer que les oxydants forts peuvent détériorer les résines dans certaines conditions et entraîner une réaction explosive. Dans bien des cas, la faible solubilité des PCC peut exclure l'utilisation des résines échangeuses d'ions. L'efficacité d'adsorption est réduite dans l'eau salée. Ces résines ne doivent pas être régénérées sur place ni utilisées pour le traitement d'oxydants forts.

On fait grand usage des résines échangeuses d'ions dans l'industrie de l'épuration et du traitement des eaux, et de nombreux fabricants les ont en stock. Leur prix varie entre 1000 $ et 3500 $/m^3 ($ U.S. de 1984) (Unterberg *et al.*, 1984).

Le tableau 23 résume l'information accessible sur la compatibilité de certains adsorbants avec des liquides dangereux. Ce tableau ne tient compte que des PCC.

Des données spécifiques aux sorbants compatibles avec les PCC et utilisables dans l'eau se trouvent à l'annexe B. Bien que le produit Hazorb (Diamond Shamrock Corporation) soit compatible avec un certain nombre de substances chimiques dangereuses, nous avons dû l'exclure en raison de son affinité pour l'eau.

5.1.3 Techniques d'adsorption. - On procède par traitement en colonne ou par lots. Le traitement en colonne consiste à faire percoler la solution polluée à travers un lit fixe d'un milieu adsorbant. Ce milieu est régénéré une fois qu'il a atteint sa capacité d'adsorption et le cycle est répété. Le traitement par lots consiste à mélanger l'adsorbant avec la solution polluée pendant une période déterminée. L'adsorbant est ensuite récupéré soit pour être éliminé soit pour être régénéré et réutilisé.

Le traitement en colonne est plus efficace que le traitement par lots et permet de récupérer une plus grande quantité de polluant. Cette méthode est cependant

TABLEAU 23 COMPATIBILITÉ DE LIQUIDES DANGEREUX ET D'ADSORBANTS/ ABSORBANTS CHOISIS (Solsberg et Parent, 1986)

Liquides dangereux	Adsorbant/absorbant: Matières animales	Charbon actif	Cellulose (Conved)	Carbonate de calcium	Autres minéraux	Minéraux traités (Hazorb)	Polyoléfines	Polypropylène (absorbant 3M)	Copolymère réticulé	Polyuréthanes (absorbant SSC)
Acides et dérivés										
Acide acétique		•	•		•			•		
Acide dichloro-2,2 propionique			•							
Acide formique		•	•		•			•		
Acide naphténique		•	•		•					
Anhydride acétique		•	•		•	•(13)		•		•
Phénols										
Crésol		•	•		•	•(13)	•	•	•	•
Phénol		•	•		•	•(15)	•			•
Aldéhydes et cétones										
Formaldéhyde		•	X		•	•(10)		•		•
Furfural		•	•		•			•		
Esters										
Phtalate de n-butyle		•			•			•		
Pyréthrines								•		
Halogènes										
BPC		•			•	•(10)	•	•		•
Bromure d'acétyle		•	•					•		
Chlordane		•						•		
Chlorobenzène		•	•		•	•(12)		•	•	
Chloroforme		•	•		•	•(12)	•	•(18)	•	•
Chlorure d'acétyle		•	•					•		
Chlorure de benzoyle		•		•			•	•		•
Chlorure de benzyle		•		•				•	•	
Chlorure de cyanogène		•	•				•			•
Chlorure de vinylidène		•						•		
o-Dichlorobenzène		•			•			•	•	
Dichloropropane - Dichloropropène		•						•	•	
Hexachlorocytopentadiène								•	•	
Phosgène		•								
Tétrachlorure de carbone		•			•	•(10)		•	•	•
Trichloroéthylène		•			•	•(13)		•	•	
Composés azotés										
Aniline		•	•							
Benzonitrile		•	•							
Cyanure d'hydrogène		•		•	•					•
Dinitrotoluène		•								
Nitrobenzène		•	•		•			•		
Quinoline		•	•					•		
Organométalliques										
Plomb tétraéthyle		•	•		•			•		
Composés organophosphorés										
Diazinon		•			•			•		
Dichlorovos		•			•			•		
Disulfoton		•			•			•		
Éthion		•			•			•		
Malathion		•	•		•			•		
Méthyl parathion		•			•			•		
Naled		•			•					
Parathion		•			•			•		
Composés sulfurés										
Acide chlorosulfonique		•			•	•(18)		•		
Disulfure de carbone		•	•		•			•		•
Acides										
Acide chlorhydrique	X	•	X	•	•	•(14)		•		•
Acide fluorhydrique	X	•	X	•	•					
Acide nitrique	X	•	X	•	•	•(20)		•		•
Acide phosphorique	X	•	X	•	•	•(26)		•		•
Halogénures inorganiques										
Chlorure de zinc (solution)		•								
Monochlorure de soufre		•						•		
Oxychlorure de phosphore		•		•				•		
Trichlorure de phosphore		•		•				•		

• Combinaisons compatibles.
X Combinaisons incompatibles.
( ) Capacité d'adsorption/absorption (masse de matière adsorbée/absorbée par unité de masse d'adsorbant/absorbant).

assortie de deux inconvénients majeurs, soit le volume considérable d'eau qui doit être récupéré et traité et le temps nécessaire à la mise en place de l'équipement requis. Le traitement par lots est plus pratique sur le terrain; les préparatifs demandant moins de temps, le traitement peut commencer plus rapidement et partant, les risques de dispersion des matières dangereuses déversées sont réduits.

Les quelques adsorbants plus denses que l'eau comprennent certaines formes de charbon actif, la cellulose non traitée et des minéraux non traités comme le sable ou l'argile. Shuckrow *et al.* (1972) ont proposé une technique d'injection d'une boue de charbon actif sous la surface de l'eau. L'injection mécanique d'adsorbants qui se déposeraient au fond de l'eau conviendrait pour les déversements de petite ou moyenne importance, ainsi que dans les eaux plus profondes et moins confinées des zones portuaires. La boue de charbon actif et les dispositifs d'injection pourraient être rapidement transportés jusqu'au site du déversement par un bateau de service. Des moyens de retenue (barrages, tranchées par ex.) pourraient s'avérer nécessaires pour prévenir la dispersion latérale par les courants. Une pompe sous vide manuelle ou une drague serviraient à récupérer la boue liquide polluée.

Il est impossible d'utiliser des adsorbants flottants pour récupérer des produits ayant coulé, à moins de concevoir des systèmes de mise en place spéciaux. On a proposé d'utiliser des barrages, tampons ou coussins d'adsorbants lestés (Hand *et al.*, 1978; Soden et Johnson, 1978). Des repères flottants pourraient en faciliter la récupération. Les barrages immergés permettraient en outre de confiner la matière déversée, à condition qu'ils soient correctement mis en place. On a également proposé de mélanger des adsorbants avec des matériaux de recouvrement inertes (Soden et Johnson, 1978), ce qui pourrait se faire par injection dans le tuyau de refoulement d'une drague hydraulique. La documentation consultée ne comporte aucune indication à l'effet que ces concepts ont été expérimentés.

On a proposé d'utiliser du coton hydrophile enduit pour la récupération du mercure organique présent dans l'eau et les sédiments pollués. Cette technique pourrait offrir des possibilités pour les déversements de PCC de petite et moyenne importance (Robinson, 1979). L'adsorbant épuisé pourrait être récupéré puis incinéré. Il faut faire une évaluation des possibilités offertes par divers adsorbants et enduits.

Une autre technique consisterait à incorporer par labourage du charbon actif magnétisé dans les sédiments pollués puis à le récupérer. Cette technique a été mise au point en collaboration avec l'EPA en vue de réduire la teneur en Képone dans la James River, en Virginie (Hand *et al.*, 1978).

Nous donnons ci-après une brève description des techniques d'application d'adsorbants étudiées à l'échelle expérimentale. La plupart de ces techniques ont été conçues pour réduire les teneurs en substances chimiques dissoutes; elles pourraient cependant servir à récupérer des PCC.

Adsorbants flottants déversés tels quels. Comme nous l'avons déjà mentionné, l'utilisation de particules adsorbantes flottantes a été proposée pour la récupération des produits chimiques dissous. Cette méthode offre certaines possibilités pour la récupération des PCC. Dans le cas des produits chimiques dissous, le milieu flottant est déposé au fond de la colonne d'eau de façon à récupérer les polluants lorsqu'ils montent en surface.

Des études par Dawson *et al.* (1977) ont permis d'établir que le charbon actif flottant était supérieur à la forme en sachets poreux sur le plan de l'efficacité de récupération des substances chimiques dissoutes, dans des conditions expérimentales de déversement et d'écoulement. Le taux de récupération avec la forme flottante a atteint 50 p. 100 à un rapport charbon/polluant de 10:1.

Deux méthodes d'application générale ont été proposées:

1) Pompage de l'adsorbant en vrac sous forme de boue liquide dans une canalisation qui débouche à proximité du fond de l'eau. Le navire qui transporte l'appareillage de pompage est propulsé à une vitesse proportionnelle au taux d'application.

2) Largage d'adsorbants à la surface de l'eau en emballage lesté. L'emballage se désintègre ou s'ouvre au contact de l'eau après s'être déposé sur le fond.

L'injection mécanique sous la surface de l'eau est considérée comme la méthode la plus pratique dans les zones portuaires où l'équipement nécessaire est à portée de la main. Le largage des airs est cependant considéré comme la meilleure méthode dans les lieux éloignés où il ne serait probablement pas possible de transporter rapidement l'équipement d'injection.

Diverses possibilités d'emballages récupérables et non récupérables ont été étudiées pour la technique faisant appel au largage de l'adsorbant par aéronef. Mercer *et al.* (1973) ont évalué des récipients en plastique, les pellicules synthétiques solubles, des récipients en argile non cuite et des matrices de glace.

La récupération de l'adsorbant épuisé peut se faire manuellement ou mécaniquement. Dans les eaux vives, l'adsorbant peut être intercepté en aval en disposant des barrages en travers du courant de manière à le diriger vers une zone accessible du rivage d'où il pourra être récupéré manuellement ou à l'aide d'engins de terrassement. Dawson *et al.* (1977) sont parvenus à récupérer ainsi plus de 90 p. 100 du charbon actif épandu.

Dans des eaux stagnantes, l'adsorbant doit être récupéré à la surface de l'eau. Bon nombre des techniques mises au point pour les mesures d'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures s'appliquent à la récupération d'un adsorbant épuisé.

L'application de charbon actif flottant à l'état libre n'est pas recommandée en raison de la turbidité que cela provoque. La récupération d'un milieu adsorbant est plus complexe lorsque l'adsorbant n'est pas contenu d'une façon ou d'une autre.

Les mauvaises conditions atmosphériques ont des effets plus dommageables sur un milieu adsorbant qui n'est pas contenu. La récupération à l'aide de barrages n'est possible que dans les conditions indiquées pour la récupération des hydrocarbures au moyen de barrages lorsqu'il y a des courants.

Sachets de thé. On a proposé d'emballer les adsorbants particulaires dans un tissu poreux, à la façon des sachets de thé, pour permettre une plus grande souplesse de dispersion et de récupération.

L'adsorbant est emballé dans un sac en tissu à mailles assez larges pour que l'eau polluée puisse entrer en contact avec l'adsorbant. Plus la granulométrie de ce dernier est fine, meilleures seront la fluidification et la surface spécifique et donc la rapidité d'adsorption. Des particules fines nécessitent cependant un tissu fin pour les contenir, ce qui restreint le passage de l'eau. La porosité du sac doit assurer à la fois le passage de l'eau et la retenue de l'adsorbant. Des études entreprises par l'EPA sur l'utilisation de charbon actif ensaché de cette façon ont permis d'établir que du charbon Filtrasorb passant dans un tamis de 12 x 40 (produit par Calgon Corporation) était compatible avec une toile en monofilament de polyester de trame 51 selon l'ASTM (Kressilk Product, Inc.) (Dawson *et al.*, 1977). Des essais en laboratoire pour la récupération des métaux lourds par échange ionique ont été conduits avec un mélange de résines cationique et anionique (Corning n° 3508A) placé dans des sachets en dacron de mailles 0,4 x 0,5 mm (Pilié *et al.*, 1975).

Mercer *et al.* (1978) ont fait des expériences pour déterminer la forme idéale des sachets. Les essais ont porté sur deux modèles:

i) sachets verticaux de 2,5 cm de largeur pleins de charbon;

ii) sachets horizontaux de 2,5 cm de largeur remplis à moitié de charbon.

L'eau pouvait passer plus librement dans les sachets horizontaux et cette configuration empêchait de plus le tassement de l'adsorbant par gravité. Cette seconde forme a donc été jugée préférable. Ce genre d'emballage doit être mince étant donné qu'un rapport élevé surface spécifique/volume permet une meilleure adsorption.

On a proposé plusieurs techniques pour l'utilisation du charbon actif en sachets.

1) *Sachets lestés*: Les sachets remplis de charbon actif pourraient être lestés pour qu'ils puissent se déposer sur un liquide ayant coulé au fond de l'eau. Cette technique est considérée comme très prometteuse bien qu'aucune étude de faisabilité n'ait été faite jusqu'à présent.

2) *Sachets suspendus*: Les sachets sont suspendus à des flotteurs de manière à ce qu'ils se déplacent à la profondeur voulue, en suivant le mouvement de la veine de polluant, ce qui permet des temps de contact prolongés. La récupération des sachets peut se faire à l'aide de barrages ou d'un câble disposé perpendiculairement au courant et juste sous la surface de l'eau. En fin de parcours, les sachets enchevêtrés contre le barrage ou le câble forment en quelque sorte un lit fixe de charbon actif à travers lequel passe l'eau polluée, ce qui permet d'augmenter d'autant plus le taux d'adsorption. Des études expérimentales par Dawson *et al.* (1977) ont permis d'obtenir des rendements d'épuration de 20 p. 100 à des débits de 0,425 m^3/s et un rapport charbon/polluant de 10:1. On a conclu que des temps de contact plus longs amélioreraient les taux d'épuration.

3) *Sachets recyclés*: Les sachets sont remplis d'un adsorbant flottant et injectés au fond de l'eau polluée à l'aide d'une pompe à solides. Ils remontent en surface par la colonne d'eau et sont automatiquement repris par la pompe et retournés vers le fond. Un modèle mathématique de cette méthode, construit par Rockwell International (1981), a établi que la pompe ne pourrait pas répondre aux besoins (Schneider, 1981; Dawson *et al.*, 1977).

4) *Panneaux*: Des panneaux garnis d'adsorbant sont disposés à des points fixes, perpendiculairement au courant, en aval du déversement. Étant donné que les temps de contact sont trop courts pour permettre une adsorption acceptable, cette technique ne paraît appropriée que si la quantité de polluant déversée est très considérable par rapport au débit total du cours d'eau ou si les panneaux sont mis en place immédiatement après le déversement (Schneider, 1981). Une couche plus épaisse d'adsorbant permettrait d'augmenter le temps de contact; en revanche, la résistance accrue opposée à l'eau exercerait une forte traction sur les câbles de suspension des panneaux et sur les panneaux eux-mêmes.

Comme nous l'avons déjà mentionné, le libre passage de l'eau à travers les sachets est le facteur qui conditionne le rendement d'épuration de cette technique. On ne

sait pas au juste si celle-ci conviendrait pour des déversements dans des eaux stagnantes ou des cours d'eau à courant lent. Les études ont indiqué que le rendement d'épuration est directement proportionnel à la turbulence et au courant du milieu récepteur. À mesure que le débit et la turbulence augmentent, le rendement d'épuration s'améliore. Des essais en eau stagnante effectués dans un bassin expérimental ont indiqué que l'on pouvait accroître sensiblement les taux d'adsorption avec des vagues de 2 cm de haut créées artificiellement. On a obtenu des résultats semblables avec de petites vagues engendrées artificiellement dans un canal sans courant. Dans les cours d'eau et les lacs à courant, la turbulence naturelle et l'action des vagues devraient permettre le renouvellement continu des eaux au voisinage immédiat d'un sachet. Dans des eaux calmes, les vagues produites par quelques bateaux à moteur hors bord pourraient causer une agitation suffisante pour améliorer la cinétique d'adsorption.

Barrages filtrants. Melvold et McCarthy (1984) ont recommandé l'utilisation de barrages filtrants pour le nettoyage de petits déversements (40 à 2000 l) de produits chimiques coulants (PCC) insolubles. Ces barrages sont beaucoup utilisés pour le nettoyage de déversement d'hydrocarbures flottants mais on ne trouve aucune documentation indiquant qu'ils aient servi à récupérer des PCC.

Un barrage filtrant est formé de deux grilles en treillis à volaille espacées d'environ un pied, placées perpendiculairement ou à un angle de 45° par rapport au courant. L'espace entre les grilles est rempli d'un adsorbant en vrac qui capte la matière déversée acheminée avec l'eau. L'adsorbant est remplacé lorsqu'il est saturé. Ce système est simple; il peut être construit avec une grande variété de matériaux disponibles sur place, il est efficace et bon marché et il est utilisé depuis au moins 15 ans.

On prétend que ce système donne d'aussi bons résultats pour les polluants qui circulent sur le fond que pour ceux qui flottent en surface. Il est cependant difficile de savoir quand l'adsorbant est saturé étant donné la difficulté de voir les polluants qui reposent sur le fond. Cette méthode ne s'applique que pour les petits déversements; le vent et les courants sont les principaux facteurs limitants.

5.2 Gélifiants

Le but d'un gélifiant est d'immobiliser la substance déversée pour éviter son étalement dans l'environnement et la conditionner en vue d'une récupération mécanique. Les gélifiants ont été utilisés pour des déversements sur terre et à la surface de l'eau, et leur emploi a été proposé pour les déversements de PCC dangereux (Hand *et al.*, 1978). Plusieurs sources mentionnent cependant que les gélifiants ne devraient pas être utilisés si

le produit en cause est un PCC ou une substance qui se mélange dans la colonne d'eau (Unterberg *et al.*, 1984; Akers *et al.*, 1981). D'autres recherches sont nécessaires pour connaître l'efficacité et le comportement des gélifiants mélangés dans l'eau avant qu'on ne puisse en recommander l'emploi pour des déversements dans l'eau. La documentation consultée ne mentionne aucune étude sur l'utilisation de gélifiants sous l'eau.

Baier *et al.* (1976) ont mis au point un gélifiant polyvalent (Multipurpose Gelling Agent - MGA) efficace contre une vaste gamme de substances comparativement à d'autres gélifiants. On pense qu'en apportant certaines modifications à ce produit, on pourrait immobiliser les PCC.

5.2.1 Application à des produits chimiques ayant coulé. - On connaît très peu de choses sur la faisabilité d'utiliser *in situ* des gélifiants lorsque le produit en cause est un PCC, bien qu'il ait été démontré que le MGA peut immobiliser plusieurs de ces produits (tableau 24). Il doit être possible de gélifier un PCC *in situ* en mettant le gélifiant en contact direct avec le liquide déversé. On peut utiliser un système de distribution sous pression muni d'une buse évasée. La principale difficulté vient de la tendance du gélifiant à flotter à la surface. Ce problème pourrait être surmonté en mélangeant le gélifiant à un matériau porteur plus dense que l'eau pour le faire couler. Solsberg et Parent (1986) affirment que les PCC peuvent être gélifiés lorsqu'ils sont agités et dispersés dans la colonne d'eau.

TABLEAU 24 PRODUITS COULANTS RÉAGISSANT AU GÉLIFIANT POLYVALENT MGA

Acide sulfurique	o-Dichorobenzène	Formaldéhyde
Aniline	Dichlorure d'éthylène	Phénol
Benzaldéhyde	Disulfure de carbone	Tétrachlorure de carbone
Chloroforme	Éthylène-glycol	Trichloroéthylène

Hand *et al.* (1978) indiquent que l'application de gélifiants est possible dans l'eau jusqu'à une profondeur de 36 m. Les courants forts peuvent poser un problème bien qu'il n'y ait aucune documentation sur l'effet que les courants peuvent avoir. La matière gélifiée pourrait être récupérée par des techniques de dragage classiques. Cela dépendrait des propriétés du produit une fois gélifié, propriétés qui restent à établir. D'importants travaux de mise au point sont nécessaires pour savoir si les gélifiants peuvent être utilisés pour des PCC dangereux.

Étant donné que le MGA est le gélifiant le plus prometteur, nous jugeons utile de donner une brève description de sa mise au point et des essais conduits. Les techniques d'application décrites intéressent tous les agents gélifiants en poudre.

5.2.2 Gélifiant polyvalent MGA. Le MGA a été mis au point par Calspan Corporation (annexe A) dans le but d'immobiliser sous forme facilement récupérable par des moyens mécaniques une vaste gamme de liquides organiques et inorganiques déversés. Le mélange a été testé sur 35 composés dangereux qui ont été gélifiés avec succès, avec un dosage d'environ 1 kg de gélifiant pour 8 l de liquide déversé. Brugger (1980) signale une compatibilité avec 19 autres produits chimiques.

La formulation du MGA a été optimisée en fonction de son aptitude à immobiliser la plus grande variété de liquides dangereux possibles avec le minimum de matière. Plusieurs matières de rechange ont également été identifiées afin d'élargir la portée et l'universalité de l'agent gélifiant. Ces matières répondaient aux critères suivants: *1*) être une poudre sèche à faible teneur en eau; *2*) former des gels visqueux sans brassage ou chaleur excessive; et 3) une efficacité gélifiante directement comparable aux éléments constitutifs du MGA original.

Un bio-essai a été effectué sur des ménés de ruisseau pour établir la toxicité du MGA quand il était utilisé dans la lutte contre les déversements. Une solution de 1 p. 100 a donné une solution visqueuse dans laquelle le poisson pouvait à peine nager. La teneur maximale sans effet toxique était de 0,01 p. 100 (en poids). Les effets toxiques du gélifiant étaient principalement dus à l'agent épaississant qui causait la suffocation et emprisonnait le poisson dans la couche superficielle.

Le MGA était utilisé au début sous forme de poudre; toutefois, des expériences sur le terrain ont mis immédiatement en évidence plusieurs inconvénients: *1*) la poudre était transportée loin de la cible sous l'effet de vents légers; *2*) les premières particules à entrer en contact avec le liquide déversé se gélifiaient si rapidement qu'elles empêchaient toute pénétration additionnelle du gélifiant dans les couches inférieures. Plusieurs formes ont été choisies afin d'améliorer les caractéristiques physiques du produit: la fine poudre originale, la poudre agglomérée par vaporisation d'eau, une variété de comprimés, des comprimés broyés tamisés en deux catégories de granulométrie, de la poudre agglomérée sans poussière, un tapis formé de poudre agglomérée, et une forme comprimée au rouleau, broyée aux dimensions voulues.

La forme comprimée au rouleau (produite par le broyage d'une couche solide formée par la compression de la poudre sur broyeur à cylindres) et les deux échantillons de

granulométrie établie (0,5 à 2,0 mm) ont été considérés comme les formes presque optimales. Elles se comportaient très bien lorsqu'il y avait du vent et dans certains liquides, elles avaient tendance à le traverser; on n'a de plus rencontré aucun problème avec les divers équipements de dispersion mis à l'essai. La forme comprimée au rouleau est plus facile à fabriquer; cependant, la gélification obtenue avec les formes de granulométrie établie est légèrement supérieure.

Pour éviter la dispersion du gel par le vent et faciliter la récupération du produit gélifié, on a tenté d'emballer le gel dans des sacs poreux. Au cours des essais, on a observé que la solidification de couche extérieure du gélifiant empêchait les parties intérieures du gélifiant d'entrer en contact avec le liquide, si bien qu'on a abandonné ce concept.

Le MGA doit être stocké dans des récipients à l'épreuve de l'humidité, à des températures inférieures à 50 °C.

5.2.3 **Techniques d'application.** - Des études faites sur le MGA comprenaient une évaluation des méthodes d'application possibles (Michalovic *et al.*, 1978). Les systèmes d'application choisis pour l'évaluation sur le terrain fonctionnaient selon divers principes: réservoirs pressurisés, effets venturi, soufflantes centrifuges et convoyeurs pneumatiques. Trois appareils couramment utilisés se sont révélés utiles au cours des expériences pilotes sur le terrain:

- un extincteur à neige carbonique rechargeable;
- un système venturi/air comprimé fabriqué pour le décapage au jet de sable;
- une courroie transporteuse pneumatique alimentée par tarière comme le "Rockduster" (Mine Safety Applications of Canada Ltd. - annexe A).

Le Rockduster est l'appareil qui convient le mieux pour d'importants déversements alors que les décapeurs au jet de sable seraient préférables pour de petits déversements.

Un prototype de système mobile d'application du gélifiant a été mis au point pour le compte de l'EPA étatsunienne. Un moteur à essence à refroidissement par air commande un transporteur pneumatique alimenté par une tarière. Le gélifiant est appliqué avec un boyau de 60 m de longueur et 51 mm de diamètre, à raison de 5,4 kg/mn. Le système est logé dans une remorque de 4 m de long qui peut être transportée par un véhicule de 3/4 de tonne.

La plupart des gélifiants ayant une densité inférieure à 1,0, il faut leur incorporer un agent porteur plus dense si le produit à gélifier est un PCC. Aucune étude

n'a porté sur l'application possible de gélifiants sur des substances ayant coulé au fond de l'eau. Les conditions du milieu peuvent empêcher un temps de contact suffisant pour permettre la gélification. La gélification doit être impossible si le courant est fort. Il faudrait récupérer le produit gélifié.

Les gélifiants ne sont pas des produits courants et doivent être stockés. Le MGA est fait d'ingrédients produits par Dow Chemical Canada Inc., B F Goodrich Canada Inc. et Henley Chemicals. Les fabricants de gélifiants sont Industrial Services International Inc. et United States Testing Co., Inc. Le MGA revient à environ 14,30 $/kg.

5.3 Filtration sur milieu granulaire

La filtration sur milieu granulaire est un procédé de séparation physique qui récupère les MeS dans l'eau lorsque le mélange est entraîné de force (par gravité, pression positive ou aspiration) à travers plusieurs couches de milieux poreux. Le milieu poreux est contenu dans une tour ou une colonne où s'opèrent la répartition de l'eau à filtrer à travers la masse filtrante et la reprise de l'eau filtrée. Les matières retenues par le milieu filtrant sont en général récupérées par lavage, le plus souvent à contre-courant, du milieu filtrant. Les milieux filtrants sont souvent constitués de couches de sable ou de gravier de granulométrie croissante vers le bas.

Après un certain temps, les filtres se colmatent. Le lavage à contre-courant est alors nécessaire pour déloger les matières retenues par le milieu filtrant. L'eau de lavage, dont le volume représente généralement 1 à 4 p. 100 du volume d'eau filtrée, doit être éliminée. Les systèmes de filtration sur milieu granulaire ont généralement des capacités de 80 à 250 l/mn . m^{-2}.

La filtration sur milieu granulaire est l'une des méthodes les plus utilisées pour séparer les solides des eaux usées. Elle est particulièrement intéressante lorsque les eaux brutes ont préalablement subi un traitement par précipitation, floculation et(ou) décantation et peut servir d'étape intermédiaire avant l'échange d'ions ou l'adsorption sur charbon actif. La filtration sur milieu granulaire peut aussi servir à récupérer un floc chimique, comme les précipités de métaux lourds, après précipitation, ou des flocs biologiques, après le traitement secondaire des eaux usées.

La filtration sur milieu granulaire n'est cependant pas efficace pour la récupération des substances dissoutes; l'eau de lavage du milieu filtrant a une teneur élevée en matières solides; la fréquence du lavage à contre-courant augmente lorsqu'on traite des eaux brutes à forte teneur en MeS.

5.4 Procédés de séparation par gravité

La séparation par gravité est un procédé de séparation physique basé sur les différences de densité des divers éléments du mélange liquide. Elle consiste à faire passer le plus possible de MeS dans une fraction du volume original du liquide ou à séparer un mélange de liquides de différentes densités. La séparation par gravité est généralement utilisée conjointement avec d'autres procédés de traitement. Elle devrait précéder la filtration si l'eau a une forte teneur en MeS; on parvient ainsi à augmenter la vie utile des filtres et elle ne peut qu'être bénéfique aux stades ultérieurs de traitement.

5.4.1 Flottation. - Il existe deux méthodes de séparation par flottation:

1) *Naturelle*: Aucun traitement chimique ni méthode mécanique n'est nécessaire. Les matières moins denses que l'eau flottent à la surface où elles peuvent être facilement récupérées par écrémage.

2) *Provoquée*: Traitement physico-chimique permettant aux matières plus denses que l'eau de flotter à la surface pour en faciliter la récupération. Un produit chimique est ajouté pour créer des conditions favorables à la fixation de bulles d'air aux particules présentes dans la boue liquide. En général, cette méthode n'est pas utilisée pour le traitement des déchets en raison des coûts prohibitifs.
Il y a une exception cependant: L'unité mobile de flottation par mousse de l'EPA. L'air comprimé est pompé dans des bassins de flottation et il y a formation d'une mousse flottante contenant le produit à récupérer, prélevée par des écrémeurs. L'unité a été conçue pour nettoyer le sable de plages polluées par des hydrocarbures après un déversement, mais on l'a utilisée avec succès pour récupérer du créosote libre ou faiblement lié dans les eaux polluées d'une rivière avant un traitement ultérieur (Unterberg *et al.*, 1984).

5.4.2 Décantation. - La décantation doit absolument suivre la précipitation, mais peut également précéder le traitement chimique pour récupérer les PCC insolubles. Les principaux éléments d'un bassin de décantation sont le décanteur, la jupe d'entrée du liquide mixte et la chicane du compartiment des boues. Le décanteur est généralement une cuve fabriquée de vinyle épais, qui repose sur 5 à 8 cm de sable. Un fût de 208 l peut faire office de jupe d'entrée du liquide mixte pour réduire sa vitesse d'écoulement et prévenir la remise en suspension des boues décantées. La chicane du compartiment des boues est l'endroit idéal pour retirer le surnageant traité sans prélever les boues décantées.

5.4.3 Centrifugation. - Une force centrifuge est appliquée à un liquide afin d'en séparer les divers éléments. La centrifugation est surtout utilisée pour déshydrater les boues et devrait être très efficace pour récupérer les solides contenus dans les boues liquides ou les boues de matières dangereuses. Cette technique ne convient pas au traitement des suspensions colloïdales. Le centrifugat peut encore contenir plusieurs centaines de milligrammes de MeS par litre et doit être traité.

5.4.4 Hydrocyclone. - Les hydrocyclones servent à séparer les MeS d'un liquide par utilisation de la force centrifuge. Il ne devrait pas y avoir de séparation marquée des polluants présents dans le liquide, en particulier des polluants dont la densité est proche de 1,0. Les forces centrifuges sont produites par l'alimentation tangentielle du fluide dans un bol cylindro-conique rotatif. L'effluent se déplace vers le centre du vortex et sort par un déversoir de trop-plein, tandis que les particules plus lourdes se déposent au fond du bol. Les hydrocyclones sont utilisés au cours des opérations de dragage et précèdent les bassins de décantation. Des essais indiquent qu'ils ne sont utiles que pour la récupération des particules de 74 µ m (sable) ou plus. Les hydrocyclones se vendent dans le commerce.

Les hydrocyclones ne permettent pas de récupérer les matières solides dissoutes ni de récupérer la totalité des MeS. Ce procédé n'est efficace que pour la récupération des particules ayant au minimum la taille granulométrique du sable. Il faut récupérer et éliminer les matières solides décantées.

La centrifugation coûte environ 20 $ à 45 $/tonne de solides secs récupérés (1978).

5.5 Procédés de séparation par membrane

5.5.1 Osmose inverse. - L'osmose inverse (OI) soumet un solvant à une pression élevée pour le forcer à traverser une membrane perméable sélective. Le rejet ne représente que 10 à 25 p. 100 du volume introduit et sa concentration est de 4 à 10 fois supérieure à la concentration d'entrée. Ce procédé est très efficace pour la récupération de la plupart des matières organiques dissoutes, des sels inorganiques, des métaux lourds et des huiles émulsifiées; il a une application industrielle surtout (déminéralisation des eaux saumâtres, épuration d'eaux résiduaires industrielles diverses, notamment). L'osmose inverse constitue généralement la toute dernière étape d'épuration; cela dépend des déchets à traiter et du type de membrane utilisé.

L'osmose inverse répond à bien des exigences d'un système de traitement mobile. Les unités compactes se vendent sur le marché, ces appareils peuvent être mis en marche facilement et être fermés assez rapidement, sont faciles à entretenir, ne

produisent qu'un faible volume de produits concentrés, ne nécessitent pas de main-d'oeuvre spécialisée, et ils peuvent être alimentés en électricité produite sur place par une génératrice.

La membrane peut cependant se colmater ou se détériorer en présence de matières en suspension, d'oxydants forts ou d'eaux résiduaires de faible pH si bien que l'eau à épurer devra généralement subir un prétraitement. Les membranes actuellement sur le marché ne peuvent traiter que des solutions aqueuses et le produit concentré obtenu doit être traité ou éliminé dans une décharge contrôlée.

L'utilisation d'une unité mobile d'une capacité de 227 000 l/j nécessite l'accès au site et au moins deux techniciens travaillant à raison de 6 à 12 heures par jour. Les coûts d'investissement d'un système d'osmose inverse et de l'équipement de soutien sont estimés à 70 000 $ ($ U.S. de 1981). Les coûts d'exploitation varient selon l'application.

5.5.2 Ultrafiltration. - L'ultrafiltration (UF) est un procédé de séparation par membrane qui fonctionne à une pression plus faible que celle de l'osmose inverse. L'ultrafiltration est plus indiquée que l'osmose inverse pour la récupération des substances chimiques dangereuses car elle permet la séparation de particules plus grosses; elle se prête particulièrement à la récupération des métaux lourds et des matières organiques. La presque totalité des applications industrielles de l'ultrafiltration concernent la concentration de lactosérum, des eaux de rinçage des teintureries et d'huiles émulsifiées. L'ultrafiltration d'eaux usées contenant jusqu'à 46 300 ppm de matières solides s'est avérée un succès.

L'ultrafiltration a de nombreuses caractéristiques en commun avec l'osmose inverse et peut comme elle être pratiquée en unité mobile. Le rejet représente 10 à 25 p. 100 seulement du volume introduit et sa concentration est 4 à 10 fois supérieure à la concentration d'entrée.

L'ultrafiltration n'est pas efficace pour la séparation de substances à faible poids moléculaire. Elle produit des perméats de faible concentration à partir d'eaux usées à concentration élevée. Le concentrat doit être traité ou éliminé dans une décharge contrôlée.

Le fonctionnement de l'appareil nécessite l'accès au site ainsi que deux techniciens. Le coût d'une unité mobile d'une capacité de traitement de 227 000 l/j est évalué à 35 000 $ ($ U.S. de 1981).

6 PROCÉDÉS DE TRAITEMENT CHIMIQUE

Ce chapitre porte sur les techniques de traitement chimique pour atténuer les effets consécutifs au déversement de produits chimiques coulants (PCC) dangereux. Il sera question en particulier des traitements directement applicables à la substance déversée et des traitements applicables à la zone touchée.

Les traitements chimiques appliqués individuellement ne sont pas considérés comme la meilleure solution pour atténuer les effets nocifs de PCC solubles ou insolubles déversés (Ellis et Payne, 1983). Un traitement donné n'est généralement valable que pour quelques substances qui peuvent tout aussi bien être récupérées avec des adsorbants ou des absorbants. En revanche, appliqués conjointement avec des traitements physiques (par exemple, incorporation d'un agent chimique dans les matériaux inertes de recouvrement de sédiments pollués, tel que mentionné précédemment), les traitements chimiques peuvent s'avérer fort utiles en cas de déversements de PCC dangereux.

Le traitement chimique *in situ* se limite aux masses d'eau de surface calmes dont la vitesse d'écoulement n'excède pas 0,6 m/s.

6.1 Neutralisation

La neutralisation est l'interaction d'un acide et d'une base qui dans l'eau réagissent pour former un sel et quelquefois de l'anhydride carbonique. À la suite d'études de toxicité pour le poisson, on recommande la neutralisation comme traitement primaire dans tout déversement d'acides et de bases suffisamment important pour abaisser le pH au-dessous de 6 ou le porter au-dessus de 9. La dispersion naturelle dans les cours d'eau ou les étangs entraîne la dilution de la substance déversée dans la majorité des cas, mais on court toujours le risque de brûlures chimiques aux plantes, d'augmentation de la demande chimique en oxygène (DCO), et d'abaissement du pH à un niveau qui provoquera la solubilisation des métaux lourds. Si l'on décide d'appliquer un neutralisant, les risques seront les mêmes si le dosage est excessif. C'est donc une décision difficile à prendre.

Les PCC miscibles à l'eau auxquels la neutralisation peut s'appliquer sont énumérés au tableau 25. Les PCC non miscibles acides ou basiques de nature, ou qui réagissent dans une solution aqueuse pour former un acide ou une base, sont énumérés au tableau 26.

La neutralisation directe des produits déversés en grande quantité est généralement appropriée quel que soit le neutralisant utilisé. Même si le neutralisant dont on dispose n'est pas idéal, cela vaudra généralement mieux que pas de traitement du tout. Si, par contre, on a le choix entre plusieurs agents, il est important de retenir celui qui

TABLEAU 25 PCC MISCIBLES À L'EAU, SUJETS À LA NEUTRALISATION (Robinson, 1979)

Acétophénone	Chlorure de sulfuryle
Acide acétique	Cyanure d'hydrogène
Acide acrylique	Diéthanolamine
Acide chlorhydrique	Diméthylformamide
Acide chlorosulfonique	Fluorure d'hydrogène
Acide fluorhydrique	Hexaméthylène tétramine
Acide formique	Hydrazine
Acide nitrique	Hydroxyde de potassium
Acide oxalique	Hydroxyde de sodium
Acide phosphorique	Monochlorure de soufre
Acide polyphosphorique	Monoéthanolamine
Acide sulfurique	Oléum
Amidure de sodium	Oxychlorure de phosphore
Aminoéthanolamine	Pentasulfure de phosphore
Anhydride acétique	Potasse caustique (solution)
Anhydride maléique	Soude caustique (solution)
Aniline	Tétrachlorure de titane
Brome	Tétroxyde d'azote
Chlorure d'aluminium	Trichlorure de phosphore
Chlorure de benzoyle	Triéthanolamine
Chlorure d'hydrogène	Urée
Chlorure de nitrosyle	

TABLEAU 26 PCC NON MISCIBLES À L'EAU, SUJETS À LA NEUTRALISATION (Hand *et al.*, 1978)

Acides
- Acide benzoïque

Bases
- Hydroxyde de calcium

Substances qui réagissent dans l'eau pour donner des bases
- Carbure de calcium
- Hydroxyde de calcium + acétylène
- Hydroxyde de calcium
- Oxyde de calcium

Substances qui réagissent dans l'eau pour donner des acides
- Acide hypobromeux
- Acide phtalique
- Anhydride phtalique
- Brome
- Chlorure d'aluminium
- Chlorure de benzoyle
- Chlorure d'hydrogène + (hydroxyde d'aluminium)
- Chlorure d'hydrogène + acide benzoïque

produit le moins de sels toxiques. Si tous les agents donnent un produit de réaction d'égale toxicité, on choisira celui qui présente le moins de risques de surtraitement et qui est le plus facile à appliquer. On recommande généralement d'utiliser un acide ou une base faibles étant donné qu'un sous-traitement est préférable à un surtraitement. Lorsque la substance dangereuse déversée a une densité supérieure à 1, il peut être nécessaire d'utiliser un acide concentré; il faut éviter de choisir un neutralisant ayant des caractéristiques physiques semblables à celles du produit déversé pour ne pas augmenter le risque de mélange. Dans le cas d'un traitement *in situ*, il est préférable d'éviter d'utiliser autant que possible des agents solides étant donné que l'on peut avoir un meilleur contrôle du mélange produit déversé/neutralisant en utilisant des agents liquides.

Le tableau 27 liste les acides et les bases jugés appropriés pour la neutralisation *in situ*. Ils ont été choisis en fonction des facteurs suivants: toxicité du produit chimique au cas où le traitement aurait manqué la cible ou que la zone traitée soit plus étendue que nécessaire; coût; disponibilité; facilité de manipulation; efficacité. Ceux en tête de liste présentent le moins de risques d'étendre le traitement au-delà de la zone nécessaire et la meilleure facilité d'application.

TABLEAU 27 ACIDES ET BASES APPROPRIÉS POUR LA NEUTRALISATION DE SUBSTANCES DÉVERSÉES (Hand *et al.*, 1978; Akers *et al.*, 1981)

Acides	Bases
Acide acétique	Carbonate de calcium
Acide sulfurique	Carbonate de sodium
Acide chlorhydrique	Dihydrogénoorthophosphate de sodium
Bicarbonate de sodium	

La neutralisation *in situ* comporte plusieurs problèmes inhérents. Lorsqu'on tente de neutraliser un acide ou une base, il y a toujours un risque de traiter une zone plus étendue que nécessaire ou de carrément manquer le panache polluant. On ne doit généralement pas tenter de neutraliser un déversement si l'on ne dispose pas de l'équipement de surveillance adéquat.

Pour les déversements dans l'eau, il faut souvent appliquer un précipitant pour récupérer les ions métalliques toxiques qui peuvent précipiter au cours de la neutralisation. Le précipité devra être dragué ou enfoui sur place.

Lorsque le neutralisant est employé en solution concentrée, les réactions exothermiques peuvent significativement accroître la température. Lorsqu'on utilise une solution diluée, les faibles fluctuations de la température sont généralement sans importance. En revanche, la quantité de neutralisant requise risque d'être considérable. Le neutralisant sera appliqué de manière à éviter les éclaboussures et le risque de brûlures graves. La température doit être mesurée tout au long de la neutralisation afin de prévenir toute possibilité de dommages écologiques.

Il peut y avoir production d'anhydride carbonique selon les caractéristiques du produit déversé et du neutralisant utilisé. Le personnel d'intervention prendra les précautions d'usage afin d'éviter des blessures au contact des mousses, des bulles ou des éclaboussures et éviter également d'endommager le matériel.

Les acides et les alcalis forts et faibles ont été utilisés pour le traitement *in situ* de déversements d'alcalis et d'acides; leur utilisation n'est cependant pas bien documentée. La chaux, le calcaire et le carbonate de sodium anhydre ont été utilisés pour des déversements d'acides; de l'acide chlorhydrique a été utilisé lors d'un déversement d'hydroxyde de sodium et on s'est servi de carbonate de sodium anhydre lors d'un déversement de diisocyanate de toluène (Ellis et Payne, 1983). La documentation n'évalue d'aucune façon les résultats obtenus et n'indique pas si les traitements appliqués ont eu des effets dommageables pour le milieu. On n'a trouvé aucun cas documenté où l'on mentionne s'être servi d'équipement de mélange pour assurer une réaction rapide et complète entre la substance déversée et le neutralisant.

La neutralisation de la substance déversée serait une alternative possible au dragage ou à l'enfouissement des matériaux pollués. En ce qui concerne les PCC, la plupart des techniques de neutralisation n'ont pas été testées en conditions réelles et devront faire l'objet d'importants travaux de recherche avant qu'on puisse s'en servir pour les PCC dangereux.

Les acides et les alcalis sont considérés comme les agents de traitement chimique *in situ* les plus prometteurs (Ellis et Payne, 1983). On devrait conduire des expériences pilotes d'application *in situ* de dihydrogénoorthophosphate de sodium pour des déversements d'alcalis et de bicarbonate de sodium pour les déversements d'acides. Les expériences pourraient être conduites à partir d'un navire et on se servirait d'un agitateur mécanique. Des travaux expérimentaux sont nécessaires pour établir: *1*) le meilleur système de détection de la substance déversée; *2*) la meilleure méthode d'agitation; 3) la meilleure méthode de mélange; *4*) le meilleur choix d'indicateurs.

6.1.1 Neutralisants

Dihydrogénoorthophosphate de sodium. C'est un produit chimique de choix pour la neutralisation des bases et notamment des substances listées dans le tableau 28 (Unterberg *et al.*, 1984; Ellis et Payne, 1983; Hand *et al.*, 1978). Ce sel tampon maintient le pH dans l'intervalle voulu. Les phosphates favorisent la croissance de la flore aquatique, leur emploi dans un cours d'eau ou un étang peut donc provoquer la prolifération des algues selon la dose appliquée. Une application trop généreuse de dihydrogénoorthophosphate de sodium ne fera tout au plus qu'abaisser le pH à 4,5; avec d'autres acides plus forts, la variation du pH pourrait être plus importante.

TABLEAU 28 PRODUITS COULANTS EFFICACEMENT NEUTRALISÉS PAR LE DIHYDROGÉNOORTHOPHOSPHATE DE SODIUM (Solsberg et Parent, 1986)

Bases	Composés réagissant avec l'eau pour donner des bases
Aminoéthyléthanolamine	Amidure de sodium
Diéthanolamine	Sodium
Hydroxyde de sodium	
Monoéthanolamine	
Potasse caustique en solution	
Triéthanolamine	

Bicarbonate de sodium. L'hydroxyde de calcium est le neutralisant préféré pour les déversements d'acides; il faudrait toutefois envisager l'emploi de bicarbonate de sodium lorsqu'une élévation excessive du pH est à craindre advenant une application trop généreuse de neutralisant. Avec le bicarbonate de sodium, le pH ne dépassera pas 8,3, valeur qui se situe dans la plage admissible pour le poisson (6,0 à 9,0). Le tableau 29 donne la liste des acides que l'on suggère de neutraliser avec du bicarbonate de sodium. Le bicarbonate de sodium peut également neutraliser des bases en formant des ions carbonate; les quantités requises sont cependant si considérables qu'on doit généralement écarter cette solution (Robinson, 1979).

TABLEAU 29 PRODUITS COULANTS EFFICACEMENT NEUTRALISÉS PAR LE BICARBONATE DE SODIUM (Robinson, 1979)

Acides	Composés réagissant avec l'eau pour donner des acides
Acide acétique	Acide chlorosulfonique
Acide acrylique	Acide polyphosphorique
Acide chlorhydrique	Anhydride acétique
Acide fluorhydrique	Brome
Acide formique	Chlorure d'aluminium
Acide nitrique	Chlorure de benzoyle
Acide oxalique	Chlorure de nitrosyle
Acide phosphorique	Monochlorure de soufre
Chlorure d'hydrogène	Oxychlorure de phosphore
Fluorure d'hydrogène	Pentasulfure de phosphore
	Tétroxyde d'azote
	Trichlorure de phosphore

Carbonate de calcium. Advenant une application excessive de carbonate de calcium, le pH atteindra au maximum 9,5, valeur juste au-dessus de la valeur admissible pour le poisson. L'utilisation de carbonate de calcium a deux avantages distincts:

- Le calcium et le carbonate sont présents à l'état naturel dans les eaux de surface. Leur utilisation n'introduit donc aucun élément toxique étranger.
- Lorsque le carbonate de calcium réagit avec un acide, il y a formation de dioxyde de carbone ou anhydride carbonique qui soulève les particules de carbonate de calcium, favorisant ainsi le mélange.

On peut obtenir du carbonate de calcium à partir du calcaire ou du marbre. Plus le matériau broyé est fin, plus la neutralisation est rapide.

Carbonate de sodium. Le carbonate de sodium utilisé pour la neutralisation d'acides a pour principal inconvénient de hausser le pH à 12 ou plus en cas de doses excessives.

6.1.2 Restrictions et disponibilité dans le commerce

La neutralisation avec des produits chimiques présente deux inconvénients majeurs: un neutralisant donné ne convient pas pour n'importe quelle substance chimique

et les quantités requises peuvent être considérables. Comme il y a un danger d'effe toxiques, il faut veiller à ce que la substance déversée ne soit pas dispersée, éventuell ment en déployant des électrodes de pH, ce qui nécessite un indicateur acide/base po délimiter la zone touchée. Dans les eaux courantes, il faudrait probablement entreprend le traitement dans les 6 à 24 heures qui suivent le déversement et l'avoir terminé dans l 12 à 36 heures (Ellis et Payne, 1983). Un délai d'intervention plus long serait possible e eaux calmes. Dans les estuaires ou les zones soumises aux marées, le traitement doit êtr fait avant la marée suivante. Le personnel doit prendre les précautions voulues afi d'éviter la formation d'écume et les éclaboussures causées par le dégagement de gaz et le réactions exothermiques associées au processus de neutralisation.

On peut se procurer facilement des neutralisants chez un grand nombre d fournisseurs, notamment: A & C American Chemicals Ltd., J T Baker Chemical Compan et Van Waters & Rogers Ltd. Les prix ne sont donnés qu'à titre d'indication:

Bicarbonate de sodium	264 $/tonne (Allied Chemicals)
Carbonate de calcium	230 $/tonne (Steel Brothers)
Carbonate de sodium	940 $/tonne (Van Waters & Rogers)
Dihydrogénoorthophosphate de sodium	2570 $/tonne (Van Waters & Rogers)

6.2 Formation d'un précipité

La précipitation est un processus physico-chimique qui a pour effet d transformer une substance dissoute en une phase solide en modifiant sa solubilité. La solubilité peut être modifiée par: *1*) un changement du pH de la solution; *2*) un modification de la température; ou *3*) l'ajout d'une substance qui réagit avec la substanc dissoute pour former un produit moins soluble. La précipitation est utilisée dans l'industri pour récupérer les métaux lourds et les colloïdaux organiques présents dans les eau résiduaires, et pour traiter les eaux de fabrication des colorants. D'après Hand *et al* (1978), la précipitation ne conviendrait que pour les déversements de fluorure d'aluminium et de carbonate de baryum. Dans les deux cas, il y a production d'ions toxiques qu'i faudra éliminer par un autre moyen.

Faute d'information, il est difficile d'évaluer la rapidité d'action et l'efficacité relative des divers précipitants vendus sur le marché. Pour décider du meilleur précipitant et du dosage, on doit procéder cas par cas en utilisant une méthode d'approximations successives et l'épreuve dite "Jar-test".

La précipitation dans le milieu même où s'est produit le déversement ne va pas sans problème. La précipitation d'ions métalliques peut provoquer une accumulation sur le

fond. On ne connaît pas encore les effets toxiques à long terme des sels métalliques insolubles. Ces sels pourraient cependant s'avérer aussi toxiques que la substance déversée. Si le précipité ne se dépose pas, la matière colloïdale peut menacer les espèces à branchies et amoindrir les valeurs récréatives et esthétiques de la région. On peut cependant pomper l'eau polluée, procéder à la précipitation suivie d'une décantation et rejeter le surnageant épuré dans le milieu original.

La documentation consultée ne signale aucun cas où l'on a eu recours à des procédés de précipitation dans le milieu même où des PCC avaient été déversés.

6.2.1 Précipitants

Hydroxydes. De nombreux ions métalliques peuvent être précipités avec des ions hydroxyde fournis par l'hydroxyde de sodium, l'hydroxyde de calcium ou la chaux. Comme un grand nombre d'hydroxydes et de métaux ne sont solubles qu'à des pH variant de 8,0 à 11,0, il faut donc généralement traiter préalablement l'eau pour amener le pH à la valeur désirée. Cette méthode ne convient pas pour le traitement *in situ*. Le précipité doit généralement être récupéré immédiatement étant donné que les sels sont réintroduits dans la colonne d'eau lorsque le pH reprend sa valeur normale. L'utilisation d'hydroxydes n'est donc possible que lorsque le précipité peut être récupéré mécaniquement.

Sulfures. Le tableau 30 présente une liste des ions métalliques qui se prêtent à la précipitation aux sulfures. Les précipités de sulfures sont généralement les moins solubles des métaux toxiques. Lorsque les ions de métaux lourds atteignent des teneurs toxiques, il y a formation d'un sulfure métallique insoluble qui abaisse rapidement la toxicité. La réintroduction du précipité de sulfure métallique dans le cours d'eau sera suffisamment faible pour minimiser tous les effets toxiques secondaires à moins que le sulfure ne soit converti en un sel organométallique. Dans ce dernier cas, la dégradation bactérienne peut convertir les sels mercuriques insolubles en un composé organomercuri-que soluble. Akers *et al.* (1981) spécifient cependant que dans un système fermé comme les lacs et les étangs, il faut récupérer le précipité de métal insoluble tant que les effets toxiques à long terme des sels métalliques insolubles ne seront pas connus.

La précipitation aux sulfures présente trois difficultés importantes:

- la toxicité de l'ion sulfure lui-même;
- le contrôle des taux d'application en proportions stoechiométriques dans le cas de gros déversements;
- la nécessité d'ajouter une base forte (généralement de l'hydroxyde de sodium (NaOH)) pour hausser le pH et empêcher la formation de sulfure d'hydrogène.

TABLEAU 30 IONS MÉTALLIQUES SUJETS À LA PRÉCIPITATION AUX SULFURES

Antimoine	Iridium	Polonium
Argent	Manganèse	Praséodyme
Arsenic	Mercure	Ruthénium
Bismuth	Molybdène	Tantale
Cadmium	Néodyme	Thallium
Cérium	Nickel	Thorium
Cobalt	Or	Uranium
Cuivre	Osmium	Vanadium
Fer	Palladium	Zinc
Gallium	Platine	Zirconium
Indium	Plomb	

La documentation recommande de n'utiliser un précipitant à base de sulfure de sodium que pour le contrôle sommaire s'il s'agit d'un petit déversement; en cas de gros déversements, il est suggéré de n'y recourir qu'à la condition de disposer de l'équipement adéquat pour surveiller la réaction.

Dix litres d'eau contenant 0,85 kg de sulfure de sodium et 0,04 kg de NaOH permettent de traiter 10 à 50 l d'eau polluée, selon le type de métal lourd en cause.

6.2.2 Restrictions et disponibilité dans le commerce

En raison de la toxicité de l'ion sulfure et la difficulté de contrôler les taux d'application, la précipitation aux sulfures ne doit être envisagée, comme nous venons de le souligner, qu'en cas de gros déversements et à la condition expresse qu'il soit possible de surveiller de près la réaction. Dans les plans d'eau fermés, les précipités de sulfures doivent être récupérés étant donné que l'on ne connaît pas les effets toxiques à long terme des sels métalliques insolubles dans ces milieux. La solubilité des sels hydroxydes augmente à mesure que le pH retourne à la normale. Les précipités hydroxydes doivent donc être récupérés par un procédé mécanique le plus tôt possible après le traitement. Comme la réaction nécessite un pH élevé, la précipitation *in situ* avec des hydroxydes est souvent impossible. Le peu d'information disponible ne nous permet pas d'estimer la rapidité de la réaction et l'efficacité relative des précipitants existants. Pour juger du meilleur précipitant à utiliser et de la dose à appliquer, il faut procéder cas par cas.

Il est facile de se procurer des hydroxydes et des sulfures. Les fournisseurs canadiens sont A & C American Chemicals Ltd. et Van Waters & Rogers Ltd.

Les sulfures coûtent 1240 $/tonne (Van Waters & Rogers) et les hydroxydes, 230 $/tonne (Steel Brothers).

6.3 Coagulation/floculation

La coagulation/floculation est un processus de séparation non destructif dans lequel de petites particules en suspension forment un floc et se déposent. Les forces superficielles de répulsion qui maintiennent les particules en suspension sont neutralisées par l'ajout de coagulants chimiques. Les forces gravitationnelles et inertielles forcent la masse floculée à se déposer au fond de l'eau.

L'agent optimum de coagulation/floculation et la dose idéale doivent d'abord être établis par approximations successives et avec des tests en bécher. Ces essais permettent de déterminer: *1*) le degré auquel la substance va précipiter, le temps de réaction et la dose nécessaire; *2*) le type d'agents à utiliser et le temps de floculation; *3*) la vitesse de décantation du floc.

La coagulation/floculation exigent des conditions contrôlées et le traitement ne peut se faire que dans des bassins fermés, ce qui exclut l'emploi de ces procédés pour le traitement *in situ*. Le processus étant non destructif, la boue produite est dangereuse et elle doit être recueillie et éliminée de façon sécuritaire pour l'environnement.

Divers coagulants/floculants se vendent sur le marché pour traiter des matières organiques et inorganiques en suspension. Nous les avons brièvement décrits.

6.3.1 Agents de coagulation/floculation

Chlorure ferrique. Pour les suspensions diluées, les doses s'établissent entre 50 et 500 mg/l; pour des suspensions très alcalines ou très concentrées, les doses seront plus fortes. Il faut éviter les applications excessives qui peuvent produire un effluent de couleur brune. Pour de meilleurs résultats, il serait probablement préférable de procéder à un prétraitement à la chaux ou à la soude caustique pour hausser le pH au-dessus de 6,0.

Alun. Pour les suspensions diluées, les doses varient entre 100 à 1000 mg/l; des doses beaucoup plus fortes sont nécessaires pour des solutions alcalines et concentrées. Dans certains cas, on procédera à un prétraitement à la chaux ou à la soude caustique afin d'ajuster le pH entre 6,5 et 7,5 et obtenir des résultats optimums.

Polyélectrolytes. Les polyélectrolytes (ou polymères synthétiques) comprennent les polyélectrolytes anioniques, cationiques et non ioniques. On peut les utiliser seuls pour la floculation des matières inorganiques, mais avec un adjuvant pour la floculation

des matières organiques. Dans le cas des solutions diluées (< 100 mg de MeS/l), les polyélectrolytes cationiques sont ajoutés à raison de 1 à 10 mg/l, alors que pour les polyélectrolytes anioniques et non ioniques, la dose sera de 1 à 100 mg/l.

6.3.2 Restrictions et disponibilité dans le commerce. - Le *chlorure ferrique* est extrêmement corrosif et doit être stocké et transporté dans des récipients spéciaux résistant à la corrosion. Les doses ne sont pas stoechiométriques et le chlorure ferrique anhydre doit être dissous avant usage. Ce produit est facile à trouver et se vend à l'état sec (anhydre) ou liquide. Le chlorure ferrique liquide est livré soit dans des camions-citernes d'une capacité de 11,4 à 15 m^3, des wagons-citernes d'une capacité de 15 à 38 m^3 ou en bonbonne de 19 à 49 l. Van Waters & Rogers vend le chlorure ferrique au prix de 4500 $/tonne.

La *solution d'alun* est également corrosive, les doses ne sont pas stoechiométriques et la boue est volumineuse et difficile à déshydrater. L'alun solide se vend en blocs, broyé, sous forme de "grains de riz" ou en poudre, en sacs de 45 kg, en fûts ou en vrac (plus de 1800 kg). Des solutions concentrées au plus à 50 p. 100 se vendent en quantités minimales de 15 m^3. L'alun est vendu par A & C American Chemicals et Van Waters & Rogers au prix de 295 $/tonne (Allied Chemicals).

Les *polymères bruts* peuvent être très visqueux. Les surfaces en contact avec ces solutions doivent être faites d'un matériau comme l'acier inoxydable et une surdose peut quelquefois avoir des effets contraires au but recherché. Les polyélectrolytes se vendent sous forme anhydre ou liquide. Les polymères anhydres sont fournis en sacs de 45 kg ou en fûts.

6.4 Extraction par solvant

L'extraction par solvant consiste à séparer un solvant non miscible et une solution aqueuse à l'aide d'un support liquide, généralement un acide dilué ou une base.

L'extraction liquide/liquide peut servir à récupérer les matières organiques présentes dans les rejets aqueux. Les applications actuelles comprennent l'extraction et la récupération des phénols, des hydrocarbures et des acides organiques. Il faut toujours un post-traitement. Le traitement *in situ* n'est pas recommandé en raison des difficultés que pose la récupération du solvant pollué. L'extraction sur place est cependant possible en pompant l'eau polluée dans des bassins de traitement. Il faut veiller à choisir un solvant relativement peu miscible à l'eau, relativement non polaire, non toxique, qui présente un coefficient de séparation élevé, qui soit facile à séparer de l'eau et facile à manipuler.

Le taux de récupération du polluant est moyen et l'extraction par solvant doit être suivie d'autres procédés d'épuration. L'extraction par solvant ne peut pas être utilisée

in situ et les solvants doivent être récupérés et traités pour en éliminer les polluants. Il n'existe aucun système mobile commercial.

6.5 Polymérisation

La polymérisation est la catalyse *in situ* d'une réaction d'addition radicalaire joignant les monomères libérés. Elle sert à réduire la mobilité de la matière dangereuse et d'en faciliter la récupération subséquente.

Des études ont été faites pour établir la faisabilité de techniques d'injection sous la surface de l'eau pour entraîner la polymérisation de la substance déversée (Unterberg *et al.*, 1984). En général, il est difficile d'obtenir une polymérisation rapide dans des conditions réelles de déversement. Ce procédé requiert un système élaboré d'injection sous l'eau dont la mise en oeuvre est considérée comme dangereuse en situation réelle. La polymérisation *in situ* n'est pas recommandée tant que d'autres travaux de mise au point n'auront pas été réalisés.

6.6 Oxydoréduction

Les réactions d'oxydoréduction sont des réactions chimiques entre deux corps dans lesquelles l'état d'oxydation d'un réactif (l'oxydant) est élevé tandis que celui de l'autre (le réducteur) est abaissé. L'oxydation complète d'une substance organique produit de l'anhydride carbonique, de l'eau, des matières organiques insolubles et des matières organiques partiellement oxydées. Ces deux derniers produits terminaux peuvent requérir un traitement ultérieur tel que l'adsorption sur charbon actif ou la décantation. La détoxication d'une substance dangereuse est le résultat direct d'une modification de la valence ou de la destruction consécutive des liaisons chimiques. Le tableau 31 liste les PCC dangereux qui se prêtent à l'oxydation *in situ*.

L'oxydation par aération complétée par l'oxygénation ou l'ozonation est recommandée étant donné que ces oxydants produisent seulement des produits de réaction non toxiques. Le recours à d'autres oxydants pour le traitement *in situ* n'est recommandé que pour des conditions tout à fait exceptionnelles et seulement si la matière déversée est entièrement confinée. Les problèmes qui peuvent se présenter sont:

- la production de produits de réaction intermédiaire toxiques;
- des réactions d'oxydation lentes et incomplètes (il faut alors ajouter le réactif en quantité telle qu'il produira des conditions toxiques graves);
- l'utilisation d'oxydants non spécifiques qui réagissent avec la plupart des matières organiques; l'oxydation de la matière organique naturellement présente dans l'envi-

TABLEAU 31 PRODUITS CHIMIQUES COULANTS QUI SE PRÊTENT À L'OXYDATION *IN SITU* (Hand *et al.*, 1978)

Anhydride phtalique
Dinitro-2, 4 aniline
Dinitro-2, 4 phénol
Crésols
Diisocyanate de diphénylméthane
Phénol
Trichlorophénol

ronnement se fera de pair avec l'oxydation de la matière déversée, créant ainsi un déséquilibre écologique; les oxydants n'ont pas été beaucoup utilisés pour la détoxication des matières dangereuses, sauf dans des lagunes aérées et autres systèmes fermés où la réaction peut être entièrement contrôlée.

6.6.1 Agents oxydants

Oxygène. L'oxygène peut être appliqué à l'aide de techniques d'aération avec ou sans insufflation d'oxygène pur. L'aération peut se faire au moyen d'aérateurs produits pour l'industrie de gestion des déchets ou à l'aide de la conduite de refoulement d'une drague hydraulique. Dans ce dernier cas, on procède par vaporisation d'oxygène liquide ou injection d'air dans la conduite de refoulement à l'aide d'un compresseur. Le principal avantage des techniques d'aération est qu'aucune substance toxique n'est introduite. L'aération comporte d'autres avantages, notamment la précipitation du fer ferreux, l'oxydation des sulfites et du sulfure d'hydrogène et l'élimination des corps volatils présents dans les eaux usées.

Ozone. L'ozonation a été utilisée dans le domaine du traitement des déchets pour détruire les acides phénoliques, les cyanures, les BPC, les matières organiques insolubles dans l'eau, les matières organiques biodégradables et certains produits chimiques polyorganiques. Bien que l'ozone soit l'un des oxydants les plus puissants connus de l'homme, il peut produire des sous-produits toxiques comme les cétones, les acides organiques, les peroxydes, les époxydes, les sulfones, les sulfoxydes et d'autres espèces oxygénées (Unterberg *et al.*, 1984).

Les ozoneurs peuvent fabriquer de l'ozone à 1 à 6 p. 100 à partir d'air ou d'oxygène pur. L'ozone est un gaz instable qui se décompose au contact de l'oxygène à des

pressions supérieures à 207 kPa. Il doit donc être produit sur place en raison de son instabilité. Un ozoneur d'une capacité de production de 270 m^3/j est évalué à 285 000 $ ($ U.S. de 1981). L'ozonation est généralement utilisée pour le polissage final en raison des coûts d'investissement élevés requis. Aucun système mobile d'ozonation n'est actuellement commercialisé pour les interventions d'urgence. Il faut remarquer que l'inhalation d'ozone est très toxique.

Permanganate de potassium. Oxydant relativement puissant, le permanganate de potassium oxyde les aldéhydes, les phénols, les mercaptans et les acides insaturés. On peut contrôler visuellement la teneur en permanganate de potassium et la réaction d'oxydation grâce à la couleur pourpre de ce corps. Les produits d'oxydation comprennent l'anhydride carbonique, l'hydroxyde de potassium et le dioxyde de manganèse insoluble. Le dioxyde de manganèse est toxique et doit être récupéré après traitement.

Peroxyde d'hydrogène. Le peroxyde d'hydrogène peut oxyder les sulfures, les mercaptans, les amines, les phénols et les cyanures. Des sels métalliques (particulièrement sels de fer) ou des métaux (aluminium, cuivre et chrome) sont nécessaires pour catalyser la réaction. Le peroxyde d'hydrogène n'introduit aucun ion étranger dans le cours d'eau.

Chlore. En tant qu'oxydant, le chlore est généralement appliqué sous forme d'hypochlorite de sodium ou d'hypochlorite de calcium. Les deux sont efficaces pour oxyder les cyanures, les nitriles, les amines aliphatiques et les composés phénoliques. Le chlore libre est un produit de la réaction d'oxydation et doit être récupéré par un traitement additionnel. Dans bien des cas, un pH alcalin est nécessaire pour assurer une réaction complète (pour le traitement des phénols, par exemple) ou pour prévenir la formation de produits de réaction toxiques (dans le traitement des cyanures, par exemple).

6.6.2 Restrictions et disponibilité dans le commerce. - L'utilisation d'oxydants *in situ* est déconseillée pour plusieurs raisons: les oxydants sont toxiques même à faible teneur; la réaction est lente; les produits de réaction ne sont pas faciles à contrôler et sont souvent toxiques; et il peut y avoir surtraitement lorsqu'on cherche à accélérer la réaction.

Les oxydants peuvent réagir violemment en présence de grandes quantités de matières organiques facilement oxydables. Ces agents doivent donc être bien mélangés et ajoutés lentement aux produits déversés afin de prévenir les réactions violentes.

Il faut ajuster le pH des solutions qui doivent être traitées par oxydation chimique afin d'assurer une oxydation efficace. Il se peut donc que l'oxydation doive être

écartée lorsque l'urgence de la situation et le contrôle limité rendent la préparation du site difficile.

Les oxydants ne doivent être utilisés que dans des endroits confinés où la réaction peut être entièrement contrôlée.

Tous les oxydants susmentionnés sont vendus par CIL Inc., Dow Chemical Canada Inc., Van Waters & Rogers Ltd. et FMC of Canada Ltd., au prix de: permanganate de potassium, 4150 $/tonne (Van Waters & Rogers Ltd.); peroxyde d'hydrogène (50 p. 100), 720 $/tonne (FMC); chlore, 450 $/tonne (Van Waters & Rogers Ltd.).

6.7 Traitement biologique

Le traitement biologique est un moyen naturel d'éliminer les substances organiques par des processus de transformation biochimique. La matière dangereuse biodégradable est mise en contact avec des mélanges d'organismes ou d'enzymes microbiens qui la dégradent en une substance inoffensive. Une matière dangereuse peut se prêter au traitement biologique à condition: *1*) d'être biodégradable, *2*) d'être un composé organique ne contenant aucun métal, *3*) de ne pas être hautement toxique ou à l'état gazeux, ce qui nécessiterait une récupération immédiate. Le tableau 32 résume l'efficacité possible du traitement de diverses matières.

Le traitement biologique *in situ* n'a qu'un potentiel limité comme mesure d'intervention d'urgence en raison du temps et des conditions environnementales du contrôle requis. Il peut cependant être utilisé à moindre coût et à moindre effort là où l'inaccessibilité des lieux écarte tout autre moyen de traitement. Le traitement biologique complète admirablement les autres méthodes de traitement de la matière déversée.

La biodégradation utilisée comme mesure d'intervention d'urgence soulève plusieurs difficultés:

- de nombreuses matières dangereuses résistent à la biodégradation;
- l'efficacité du traitement biologique dépend de plusieurs variables incontrôlables;
- il y a risque d'introduction de pathogènes lorsqu'on utilise des cultures provenant d'une station d'épuration;
- il faut de grandes quantités de cultures acclimatées pour obtenir une biodégradation rapide.

Les substances organiques dangereuses qui ont tendance à résister à la biodégradation sont celles qui ont une structure chimique complexe (substances aromatiques, aliphatiques entièrement halogénés, par exemple). La biodégradation est également entravée par une teneur élevée en matières organiques, une faible solubilité et un poids moléculaire élevé (Unterberg *et al.*, 1984).

TABLEAU 32 TRAITEMENT BIOLOGIQUE (Akers *et al.*, 1981)

Substance chimique	% d'oxydation	Ensemencement	Durée de l'essai
a. Oxydation biologique (conditions en station d'épuration)			
Chlorobenzène	17,1	BE act.	192 heures
Formaldéhyde	99	BE act.	120 heures
Crésols	28,4 à 36,6*	BE act.	192 heures
Phénol	34*	BE act.	192 heures
Phénol	39**	BE act.	12 heures
b. Oxydation biologique (conditions calmes)			
Formaldéhyde (500 ppm)	47	BE accl.	5 jours
Formaldéhyde (333 ppm)	94	BE accl.	5 jours
Furfural	100	BE accl.	2 jours
Acide benzoïque	46	BE	10 jours
Acide formique	40	BE act.	5 jours
Crésols	95 à 100	BE	2 à 7 jours
Benzonitrile	40	BE	5 jours
Cyanure de potassium	0	BE act.	7 jours

c. **Composés organiques qui ne réagissent pas**	
Composé	Technique
Dioxanne	DBO BE act.
Chlorhydrine du glycol éthylénique	DBO BE act.
Hydroxy-2 butanol	DBO BE act.
Di-éthylène glycol	DBO BE act.
Tétraéthylène glycol	DBO BE act.
Acide thio-glycolique	DBO BE act.
Triéthanolamine	Resp. BE act.

* Acclimaté à l'aniline.
** Acclimaté au phénol.
BE = Boues d'égout.
Resp. = Respiromètre.
BE act. = Boues d'égout activées.
BE accl. = Boues d'égout acclimatées.

La croissance des bactéries dans une situation donnée dépend de la viabilité de la culture introduite, de la phase de latence, de l'acclimatation, des facteurs conditionnant leur croissance, de la température, de la présence d'oxygène, du type de substrat, de la superficie libre et du temps de contact (Akers *et al.*, 1981).

L'oxygène essentiel à la biodégradation est épuisé dès l'addition de micro-organismes, ce qui non seulement entrave la biodégradation mais nuit également au biote existant. L'aération naturelle peut se révéler inadéquate et nécessiter un supplément d'oxygène fourni par des aérateurs mécaniques.

La biodégradation dépend étroitement de la température qui influe sur l'acclimatation des bactéries, leur taux de croissance et l'efficacité du traitement (Akers *et al.*, 1981). À basse température, un taux métabolique réduit pourrait avoir de sérieux effets sur l'efficacité du traitement biologique. En général, la température optimale varie de 15 à 35 °C.

Les bactéries qui servent à l'oxydation des matières dangereuses comprennent les cultures naturelles édaphiques et des eaux de surface, les boues d'égout activées et les souches spéciales vendues dans le commerce. Il est tout à fait possible qu'un déversement de matières dangereuses détruise la population microbienne naturelle et qu'il soit nécessaire de faire appel à des cultures acclimatées. Lorsqu'on utilise des boues d'égout activées, il faut s'assurer qu'aucun pathogène n'est introduit dans l'eau. Jusqu'à présent, plusieurs organismes ont été cultivés et utilisés avec succès pour dégrader une grande variété de produits chimiques organiques en laboratoire et au cours d'expériences pilotes. *Pseudomonas* s'est révélé le plus polyvalent; il dégrade une vaste gamme de matières toxiques. Il est relativement facile d'en produire de grandes quantités. La documentation mentionne que la biodégradation ne produit aucune boue toxique ou nocive; il n'existe cependant pas de données sur les effets à long terme de ce procédé (toxicité des sous-produits et bioamplification). Des cultures bactériennes déshydratées sont utilisées pour les déversements d'hydrocarbures. Il n'existe cependant aucune donnée sur les doses appliquées. Il faut remarquer que les cultures d'eau douce ne conviennent peut-être pas aux eaux marines et côtières étant donné que leur salinité élevée diminue l'intervalle efficace du pH.

Les bactéries peuvent être stockées pendant de longues périodes à l'état latent (congelées, en poudre lyophilisée ou en liquide). Le stockage sous forme lyophilisée est avantageux étant donné que les bactéries peuvent être conservées à température ambiante; leur reconstitution nécessite cependant plusieurs heures. La forme liquide est préférable parce que les bactéries sont prêtes à l'emploi. Les cultures peuvent être déployées facilement et rapidement par pulvérisation d'un hélicoptère, du rivage ou d'une embarcation. Armstrong (Hand *et al.*, 1978) souligne que certaines souches de bactéries ont tendance à descendre d'elles-mêmes sur le fond. On peut autrement placer les bactéries dans des sacs submersibles.

Le procédé par boues activées est l'un des procédés de traitement biologique des eaux usées les plus utilisés. Ghassemi *et al.* (1981) ont évalué les procédés UNOX et OASES (deux procédés par boues activées à l'oxygène de grande pureté) avec des unités mobiles d'épuration. On a cependant noté plusieurs restrictions majeures: inapplicabilité

au traitement des déchets toxiques, longue période de démarrage et de stabilisation, vulnérabilité aux charges "massives", inapplicabilité au traitement des eaux contenant des hydrocarbures volatils, personnel spécialisé et besoin d'un bassin de grandes dimensions pour traiter des déchets concentrés. Avec un temps de séjour de 48 h, le plus gros réacteur mobile (47 300 l) aurait une capacité hydraulique de seulement 23,65 m^3/j. Les coûts d'investissement d'une unité capable de traiter 227 m^3 d'eau par jour ont été évalués à 200 000 $ (1982).

Le traitement *in situ* des matières organiques n'est recommandé que si la matière déversée est entièrement confinée, que l'on dispose d'un temps suffisant pour la biodégradation et que l'introduction de bactéries ne sera pas dommageable pour le milieu. Une dispersion rapide de la substance déversée peut rendre le traitement biologique tout à fait impraticable. Les systèmes mobiles ont une capacité hydraulique relativement faible.

6.8 Dispersion/dilution

La dispersion/dilution est un processus qui facilite la dilution d'une matière dangereuse en favorisant sa dispersion. Cette technique est basée sur le principe selon lequel la dispersion de la matière déversée sur une grande superficie en réduit la teneur en deçà du seuil de toxicité. Elle est aussi utile pour augmenter le taux de biodégradation de certains polluants organiques (par exemple, les hydrocarbures). La dispersion mécanique aussi bien que chimique ne doit être retenue que lorsque toutes les autres mesures d'intervention ont été écartées. On ne la considérera *jamais* comme technique de première intervention en cas de déversement de matières dangereuses. Le tableau 33 liste les produits chimiques faisant partie du Chemical Hazards Response Information System (CHRIS) pour lesquels la dispersion est parfois indiquée (Hand *et al.*, 1978).

Les critères présidant au choix de la technique de dilution concernent l'utilisation du plan d'eau (pêche, baignade, navigation), sa nature (cours d'eau libre, zone maritime), et ses dimensions, ainsi que la nature et l'importance du déversement. Voici les cas auxquels peut s'appliquer la dispersion:

- Eaux libres où la dispersion naturelle peut entraîner la dilution rapide du produit chimique déversé.
- Petits cours d'eau qui se déversent dans de grandes rivières dont le débit important permet une dilution rapide.
- Embouchure d'un port exposé à des courants de marée rapides. Les dispersants doivent être appliqués à marée descendante.

TABLEAU 33 PRODUITS QUI SELON LE CHEMICAL HAZARDS RESPONSE INFORMATION SYSTEM (CHRIS) SONT ÉLIMINABLES PAR DISPERSION (Hand *et al.*, 1978)

Aniline	Diméthylsulfate
Brome	Épichlorhydrine
Carbure de calcium	Furfural
Chlorure de benzoyle	Huile carbolique
Crésols	Hydrure d'aluminium lithium
Dichlorométhane	Oxyde de calcium
Dichloro-2,4 phénol	Toxaphène

La dispersion peut se faire de façon mécanique et chimique. Il faut remarquer que les seuls essais de dispersion à grande échelle se rapportent à des déversements d'hydrocarbures. La technologie en vue de l'application de ces techniques aux déversements de PCC n'est pas encore au point.

6.8.1 Dispersion mécanique. - Il existe un certain nombre d'appareils mécaniques pour la dispersion; leur efficacité dépend cependant de l'ampleur et de l'emplacement du déversement ainsi que de la hauteur d'eau. Les remous causés par l'hélice d'une embarcation et le jet d'un tuyau peuvent être efficaces en eaux peu profondes et dans les petits déversements. L'utilisation d'aérateurs vendus sur le marché pour disperser la matière déposée sur le fond peut également être efficace. Lorsque la quantité de produit déversé dépasse 400 kg, on doute que l'équipement de mélange permette de provoquer un brassage convenable (Srinivasan *et al.*, 1975).

L'augmentation du débit à l'aide d'eau stockée en amont du déversement pourrait être efficace dans les affluents de grands cours d'eau. Il faut cependant que l'on soit à même de prévoir les débits et le temps qu'il faudra pour ramener les teneurs en polluant en deçà du seuil de toxicité.

Les appareils de dispersion mécanique ne sont indiqués que pour des déversements relativement faibles en zones peu profondes. Le brassage nécessaire en exclut l'emploi pour des déversements de plus de 400 kg. La dispersion par augmentation du débit n'est possible que lorsque des ouvrages de stockage se trouvent en amont. Elle ne convient que pour les petits cours d'eau à débit relativement lent, et à condition de pouvoir calculer le débit et le temps qu'il faudra pour abaisser les teneurs en polluant sous la

teneur toxique. La dispersion ne doit *jamais* être envisagée comme première mesure d'intervention en raison des effets toxiques possibles sur le biote aquatique.

6.8.2 Dispersion chimique. - La dispersion chimique fait appel à des agents tensio-actifs. Ces agents abaissent la tension superficielle à l'interface eau/substance chimique, entraînant une dispersion latérale de la substance à la surface du plan d'eau et partant, une meilleure dilution. De plus, l'augmentation notable de l'interface favorise la dégradation bactérienne.

Les dispersants sont généralement appliqués au moyen de pompes manuelles et de dispositifs sous pression, de pompes à éjecteur portatives, de rampes de pulvérisation et de méthodes de pulvérisation aérienne. La dispersion peut nécessiter un certain brassage; celui-ci peut être obtenu au moyen de l'hélice d'un bateau.

Des méthodes de dispersion chimique n'ont pas encore été mises au point pour des déversements de PCC. Il n'existe actuellement aucun dispersant spécifique pour les PCC.

6.9 Application de mesures de traitement chimique *in situ*

Le traitement chimique *in situ* exige un contact étroit entre le produit chimique utilisé pour le traitement et la matière dangereuse déversée. Lorsqu'il s'agit de PCC, l'agent traitant peut être ajouté: *1*) tout près du fond ou *2*) directement à la surface de l'eau. En eaux calmes, un brassage mécanique s'impose pour faciliter le mélange du produit chimique déversé et de l'agent de traitement. Le traitement sera encore plus efficace si la matière déversée est confinée et cela minimise le risque d'effets secondaires de la réaction.

6.9.1 Application. - L'agent de traitement peut être appliqué à l'état d'une poudre sèche, d'une bouillie faite de poudre et d'eau ou d'une solution liquide. En ce qui a trait au traitement *in situ*, il est préférable d'éviter dans la mesure du possible d'utiliser des agents solides étant donné que les phases liquides permettent d'exercer un bien meilleur contrôle.

L'application en surface peut se faire à partir d'une embarcation ou d'un aéronef. L'épandage par aéronef permet d'intervenir rapidement et évite d'avoir à transporter le produit chimique sur les lieux du déversement. En revanche, la capacité d'un aéronef est faible par rapport à celle des bateaux et le produit chimique ne peut pas être épandu aussi précisément des airs que d'un bateau.

On considère que le largage de produits pulvérulents à partir d'aéronefs est possible pour des déversements localisés lorsque l'élément temps est critique. Il est

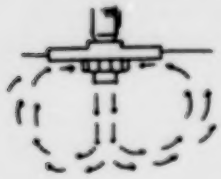
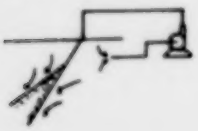
relativement facile de munir un aéronef de l'équipement nécessaire pour la pulvérisation de boues liquides ou de solutions étant donné que cette technique est déjà utilisée en agriculture. Il reste néanmoins à résoudre comment réaliser le mélange dispersant/polluant.

Si l'épandage se fait à partir d'un bateau, l'agent de traitement doit être à l'état de boue liquide ou de solution. Le liquide peut être dispersé à l'aide d'un agitateur mécanique ou en l'injectant du côté aspiration de la pompe si l'on utilise une pompe à jet de liquide.

Si le traitement vise des PCC insolubles, il serait préférable d'injecter l'agent chimique tout près du fond. En cas de petit déversement, il est préférable d'endiguer la zone touchée et d'appliquer l'agent tel quel afin d'éviter les surdoses ou les mauvaises applications. Dans le cas des déversements de moyenne ou grande importance, l'agent de traitement peut être appliqué avec un matériau de recouvrement inerte afin de former une couche de recouvrement active. Cette solution peut être injectée sous pression dans le tuyau de refoulement de la drague utilisée pour mettre le matériau de recouvrement en place.

6.9.2 Brassage. - Le brassage favorise sensiblement la vitesse de réaction entre la substance déversée et l'agent de traitement, en particulier si le polluant est un PCC. Le brassage se fait actuellement par agitation mécanique, agitation gaz/liquide, ou agitation liquide/liquide. Ces procédés sont résumés au tableau 34.

TABLEAU 34 RÉSUMÉ DES TECHNIQUES DE BRASSAGE (Ellis et Payne, 1983)

	Caractéristiques	Avantages
Agitation mécanique 	- systèmes d'agitateur - moteur; modèles standard de 1,5 à 75 kW - zone de brassage intégral de 12 m pour une hauteur d'eau de 1,8 m avec une pompe de 2,2 kW; diminue à 6 m avec une pompe de 0,7 kW - puissance nécessaire de 2,6 à 7 W/m^3 pour le mélange de liquides, rapport puissance/volume unitaire accru d'un facteur de 10 pour les matières solides en suspension	- facile à installer
Agitation gaz/liquide	- les systèmes sont généralement conçus pour des situations particulières - les débits d'air types par station de pompage varient de 0,002 à 0,01 m^3/s pour un espacement de 3 m	- un rideau de bulles peut aider à prévenir toute autre dispersion de la matière déversée - meilleur rendement énergétique que l'agitation mécanique à des hauteurs d'eau supérieures à 3,7 m - oxygénation de l'eau
Agitation liquide/liquide 	- un système de jet liquide peut être actionné à partir d'une embarcation qui se déplace au-dessus du site de déversement	- permet d'entraîner l'agent de traitement chimique et la substance dangereuse déversée à la surface de l'eau

RÉFÉRENCES

Akers, C.K., R.J. Pilié et J.G. Michalovic, *Guidelines for the Use of Chemicals in Removing Hazardous Substance Discharges*, Environmental Protection Agency Report EPA-600/2-81-205, Edison, New Jersey (1981).

U.S. Army, *Direct and Indirect Effects of Sediment Organic Fractions on the Mobilization of Various Contaminants During Dredging and Disposal of Sediments*, Contract report D-76-7, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Mississippi (1975a).

U.S. Army, *Study of Mobilization and Immobilization of Pesticide and PCB Materials into Water Column During Dredging and Disposal*, Contract report D-75-6, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Mississippi (1975b).

U.S. Army, *Effects of Dredging and Dredged Material Disposal on Benthos and the Marine Environment*, Draft report, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Mississippi (1976).

U.S. Army, *Assessment of Aesthetic and Ecological Significance of Turbidity in Various Aquatic Environments*, Draft report, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Mississippi (1977).

U.S. EPA, Innovative and Alternative Technology Assessment Manual, U.S. Environmental Protection Agency, Edison, New Jersey (1980).

Baier, R.E., J.E. Michalovic, V.A. Depalma et R.J. Pilié, "Universal Gelling Agent for Control of Hazardous Liquid Spills", Calspan Corporation, Amsterdam, Pays-Bas, *Journal of Hazardous Materials*, *1* (1975/76) p. 21-33 (1976).

Bauer, W.H., D.N. Borton, J.J. Bulloff et J.R. Sinclair, "Agents of the Amelioration of Discharges of Hazardous Chemicals on Water", dans *Proceedings, National Conference on the Control of Hazardous Materials Spills*, Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (1976).

Bennet, G.F., F.S. Feates et I. Wilder, Hazardous Materials Spills Handbook, McGraw-Hill, New York, NY (1982).

Brugger, J.E., "Selection, Effectiveness, Handling, Regeneration of Sorbents in the Cleanup of Hazardous Materials Spills", dans *Proceedings, National Conference on the Control of Hazardous Materials Spills*, Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (1980).

Dawson, G.W., B.W. Mercer et R.G. Parkhurst, *In-situ Treatment of Hazardous Materials Spills in Flowing Streams*, U.S. Environmental Protection Agency Report EPA-600/2-77-164, Edison, New Jersey (1977).

Ellis, W.D. et J.R. Payne, *Chemical Countermeasures for In-situ Treatment of Hazardous Materials Releases* (version préliminaire), Environmental Protection Agency Contract No. 68-01-3113, Edison, New Jersey (1983).

Ghassemi, M., K. Yu et S. Quinlivan, *Feasibility of Commercialized Water Treatment Techniques for Concentrated Waste Spills*, U.S. Environmental Protection Agency Report EPA-600/2-81-213, Edison, New Jersey (1981).

Hand, T.D., A.W. Ford, P.G. Malone, D.W. Thompson et R.B. Mercer, *A Feasibility Study of Response Techniques for Discharges of Hazardous Chemicals that Sink*, U.S. Coast Guard CG-D-56-78, Washington, D.C. (1978).

Hayes, D.F., G.L. Raymond et T.N. McLellan, "Sediment Resuspension from Dredging Activities", dans *Proceedings of the Conference on Dredging '84*, American Society of Civil Engineers, New York, NY (1984).

Huibregste, K.R., R.C. Scholz et R.E. Wullschleger, *Manual for Control of Hazardous Materials Spills: Volume 1 - Spill Assessment and Water Treatment Techniques*, U.S. Environmental Protection Agency Report EPA-600/2-77-227, Edison, New Jersey (1977).

Kikegawa, Kiichi, "Sand Overlaying for Bottom Sediment Improvement by Sand Spreader", dans *Proceedings Management of Bottom Sediments Containing Toxic Substances*, U.S. Army Corps of Engineers (October 1983), Fort Belvoir, Virginie (1981).

Kita, D. et H. Kubo, "Several Solidified Sediment Examples", dans *Proceedings Management of Bottom Sediments Containing Toxic Substances*, U.S. Army Corps of Engineers (October 1983), Fort Belvoir, Virginie (1981).

Koba, H. et T. Shiba, "Test Dredging of Bottom Sediments in Osaka Bay", dans *Proceedings Management of Bottom Sediments Containing Toxic Substances*, U.S. Army Corps of Engineers (October 1983), Fort Belvoir, Virginie (1981).

Mercer, B.W., A.J. Shuckrow et G.W. Dawson, *Treatment of Hazardous Spills with Floating Mass Transfer Media*, Environmental Protection Agency Report EPA-670/2-73-078, Edison, New Jersey (1973).

Melvold, R.W. et L.T. McCarthy, *Emergency Response Procedures of Control of Hazardous Substance Releases*, Environmental Protection Agency Report EPA-D-84-023, Edison, New Jersey (1984).

Melvold, R., S. Gibson, R. Scarberry, W. Ellis et M. Roger, *A Guidance Manual for the Selection and Use of Sorbents of Hazardous Substance Releases*, Environmental Protection Agency, Edison, New Jersey (1987).

Michalovic, J.G., C.K. Akers, R.W. King et R.J. Pilié, *System for Applying Powdered Gelling Agents to Spilled Hazardous Materials*, U.S. Environmental Agency Report EPA-600/2-78-145, Cincinnati, Ohio (1978).

Nawrocki, M.A., *Removal and Separation of Spilled Hazardous Materials from Impoundment Bottoms*, U.S. Environmental Protection Agency Report EPA-600/2-76-245, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio (1976).

Phillips, K. et J. Malek, "Dredging as a Remedial Method for a Superfund Site", dans *Proceedings, Conference on Dredging '84*, American Society of Civil Engineers, New York, NY (1984).

Pilié, R.J., R.E. Baier, R.C. Ziegler, R.P. Leonard, J.G. Michalovic, S.L. Pek et D.H. Bock, *Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials*, Environmental Protection Agency Report EPA-600/2-75-402, Cincinnati, Ohio (1975).

Robinson, J.S. (éd.), *Hazardous Chemical Spill Cleanup*, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey (1979).

Schnieder, G.R., *Removal of Water Soluble Hazardous Materials Spills from Waterways by Activated Carbon*, Rockwell International for U.S. Environment Protection Agency Report EPA-600/S2-81-195, Edison, New Jersey (1981).

Shields, F.D. et R.L. Montgomery, "Fundamentals of Capping Contaminated Dredged Material", dans *Proceedings, Conference on Dredging '84*, American Society of Civil Engineers, New York, NY (1984).

Shuckrow, A.J., B.W. Mercer et G.W. Dawson, "The Application of Sorption Process for *In-situ* Treatment of Hazardous Materials Spills", dans *Proceedings, National Conference on Control of Hazardous Materials Spills*, Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (1972).

Soden, J.E. et J.C. Johnson, "Burial and Other High-potential Response Techniques for Spills of Hazardous Chemicals that Sink", dans *Proceedings, National Conference on Control of Hazardous Material Spills*, Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (1978).

Solsberg, L.B. et R.D. Parent, Répertoire de systèmes, de produits et de matériel de lutte contre les déversements de produits chimiques, Environnement Canada, Rapport SPE 9/SP/2, Ottawa, Ontario (1986).

Srinivasan, S., T. Thomas, A. Gezen, A. Coyle et C. Kimm, *Influence of Environmental Factors on Selected Amelioration Techniques for Discharges of Hazardous Chemicals*, U.S. Coast Guard CG-D-81-75, Washington, D.C. (1975).

Togashi, Hiroaki, "Sand Overlaying for Sea Bottom Sediment Improvement by Conveyor Barge", dans *Proceedings Management of Bottom Sediments Containing Toxic Substances*, U.S. Army Corps of Engineers (October 1983), Fort Belvoir, Virginie (1981).

Unterberg, W., R.W. Melvold, S.L. Davis, F.J. Stephens, F.G. Bush et P.A. Scofield, *Manual of Countermeasures for Hazardous Substance Releases*, Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio (1984).

Wetzel, R.S., A.N. Tafuri et J.R. Sinclair, "Improved Techniques for Removal of Sediments Contaminated with Hazardous Materials", dans *Proceedings, Conference on Dredging '84*, American Society of Civil Engineers, New York, NY (1984).

White, W.A., *Controlled Investigations of the Movement of Dredged Sediments as a Density Current*, University of Texas, Austin, Texas (1966).

Widman, M. et M. Epstein, *Polymer Film Overlay System for Mercury Contaminated Sludge - Phase I*, Environmental Protection Agency Water Pollution Control Research Series No. 16080 HTZ, Washington, D.C. (1972).

WODCON Association, *World Dredging and Marine Construction Journal*, Vol. 21(1), January 1985, Vol. 21(3), March 1985, Irvine, Californie.

Ziegler, R.C. et J.P. Lafornara, "*In-situ* Treatment Methods for Hazardous Materials Spills", dans *Proceedings, National Conference on Control of Hazardous Materials Spills*, Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (1972).

BIBLIOGRAPHIE

Bauer, W.H., D.N. Borton et J.J. Bulloff, *Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharges of Hazardous Chemicals on Water*, U.S. Coast Guard Report CG-D-38-76, Washington, D.C. (1975).

Brannon, J.M., R.E. Hoeppel et D. Gunnison, "Efficiency of Capping Contaminated Dredged Material", dans *Proceedings of the Conference on Dredging '84*, American Society of Civil Engineers, New York, NY (1984).

Brugger, J.E. et I. Wilder, "A Review of U.S. EPA's Research Program on the Prevention and Control of Hazardous Materials Spills", Amsterdam, Pays-Bas, *Journal of Hazardous Materials, 1* (1975/76) p. 3-19 (1975).

Dawson, G.W., A.J. Shuckrow et B.W. Mercer, "Strategy for Treatment of Waters Contaminated by Hazardous Materials", dans *Proceedings, National Conference on Control of Hazardous Materials Spills*, Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (1972).

Dawson, G.W., B.W. Mercer et R.G. Parkhurst, "Comparative Evaluation of *In-situ* Approaches to Treatment of Flowing Streams", dans *Proceedings, National Conference on Control of Hazardous Materials Spills*, Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (1976).

Griffiths, R.A., *An Overview of Current Spill Cleanup Technology*, Environmental Protection Agency Report EPA-600/D-82-341, Edison, New Jersey (1982).

Hansen, C.A. et R.G. Sanders, *Removal of Hazardous Materials Spills from Bottoms of Flowing Waterbodies*, Environmental Protection Agency Report EPA-600/2-81-137, Cincinnati, Ohio (1981).

Herrick, E.C., D. Carstea et G. Goldgraben, *Sorbent Material for Cleanup of Hazardous Materials*, Environmental Protection Agency Report EPA-600/2-82-030, Cincinnati, Ohio (1982).

Kaneko, A. et Y. Watari, "Dredges for Fighting Pollution", *Dock Harbour Authority, 64, 752*, p. 53-57 (juillet, 1983).

LaFornara, J.P. et I. Wilder, "Solution of the Hazardous Materials Spill Problem in the Little Menomonee River", dans *Proceedings, National Conference on Control of Hazardous Materials Spills*, Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (1974).

Morton, R.W., "Capping Procedures as an Alternative Technique to Isolate Contaminated Dredge Material in the Marine Environment", dans *Proceedings, 7th U.S./Japan Experts*

Meeting, Management of Bottom Sediments Containing Toxic Substances, U.S. Army Corps of Engineers, Fort Belvoir, Virginie (1981).

Murden, W.R. et J.L. Goodier, "The National Dredging Study; Dredging: Environmental Effects and Technology", dans *Proceeding, WODCON VII, World Dredging Conference*, WODCON Association, San Pedro, Californie (1976).

Semonian, R.C., "Studies of Capping of Contaminated Dredge Material in New England Division", dans *Proceedings, 7th U.S./Japan Experts Meeting, Management of Bottom Sediments Containing Toxic Substances*, U.S. Army Corps of Engineers, Fort Belvoir, Virginie (1981).

Weston, R.R., "Selecting a Treatment Technique for Contaminated Bottom Sediments", dans *Proceedings, National Conference on Control of Hazardous Materials Spills*, Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (1982).

ANNEXE A

ADRESSES DES SOCIÉTÉS

Fournisseurs de produits divers

A & C American Chemicals Ltd.
3010, rue de Baene
Montréal (Québec)
H4S 1L2
Tél.: (514) 336-1493

Allied Chemicals Canada Ltd.
201 City Centre Drive
Mississauga (Ontario)
L5C 1V8
Tél.: (416) 270-5534

Andesite of California Inc.
1260 South Goodrich Boulevard
Los Angeles, California 90022
U.S.A.
Tél.: (213) 726-7602

J T Baker Chemical Company
2 Norelco Drive
Weston (Ontario)
M9L 1R9
Tél.: (416) 749-8620

Calgon Canada
27 Finley Road
Bramalea (Ontario)
L6T 1B2
Tél.: (416) 457-5310

Calspan Corporation
Environmental Systems Dept.
P.O. Box 400
Buffalo, New York 14225
U.S.A.
Tél.: (716) 632-7500
Télex: 91-270

CIL Inc.
CIL House 90
Sheppard Avenue E.
North York (Ontario)
M2N 6H2
Tél.: (416) 229-7000

Dow Chemical Canada Inc.
Modeland Road
P.O. Box 1012
Sarnia (Ontario)
N7T 7K7
Tél.: (519) 339-3131

FMC of Canada Ltd.
Industrial Chemicals Division
570-885 Dunsmuir Street
Vancouver (C.-B.)
V6C 1N5
Tél.: (604) 685-6508

B F Goodrich Canada Inc.
521 King Street West
Kitchener (Ontario)
N2G 1C5
Tél.: (519) 888-4300

Hercules Canada Inc.
Mississauga Executive Centre
4 Robert Speck Parkway
Mississauga (Ontario)
L4Z 1S1
Tél.: (416) 848-1800

Industrial Services International Inc.
P.O. Box 10834
Bradenton, Florida 33507
U.S.A.
Tél.: (813) 792-7778

Kelco, Division of Merck & Co., Inc.
75 Terminal Avenue
Clark, New Jersey 07066
U.S.A.
Tél.: (201) 381-6900

Lexcan Industrial Supply Limited
85 Vulcan Street
Rexdale (Ontario)
L1A 1A1
Tél.: (416) 249-8361

Mine Safety Applications (MSA) Co.
of Canada Ltd.
148 Norfinch Street
Downsview (Ontario)
M3N 1X8

National Car Rental System, Inc.
Mud Cat Division
P.O. Box 16247
St. Louis Park, Minnesota 55416
U.S.A.
Tél.: (612) 893-6400

Penta Ocean Construction Co., Ltd.
2-8, Koraku 2-Chome
Bunkyo-Ku, Tokyo 112
Japon

Rohm and Haas Canada Inc.
2 Manse Road
West Hill (Ontario)
M1E 3T9
Tél.: (416) 284-4711

Sea Clean Inc.
7000 - 62nd Avenue SW
Miami, Florida 33143
U.S.A.

Schlegel Lining Technology Inc.
P.O. Box 9115, Station "F"
Calgary (Alberta)
T2J 5S7
Tél.: (403) 273-3066

Sorbent Products Co., Inc.
Maplewood, New Jersey
U.S.A.
Tél.: (201) 762-4702

Steel Brothers Canada Ltd.
4836 - 6th Street NE
Calgary (Alberta)
Tél.: (403) 276-9335

Takenaka Komuten Co., Ltd.
21-1, 8-Chome
Ginza, 20C8UO-Ko, Tokyo
Japon
Tél.: (03) 542-7100

Terra Nova Power & Development Ltd.
36 Pippy Place
P.O. Box 13531
St-Jean (Terre-Neuve)
A1B 4B8
Tél.: (709) 753-9043

3M Canada Inc.
P.O. Box 5757
London (Ontario)
N6A 4T1

Toyo Construction Co., Ltd.
7-1, Kanda-Nishikicho 3-Chome
Chiyoda-Ku, Tokyo
Japon

United States Testing Co., Inc.
Environmental Sciences Division
1415 Park Avenue
Hoboken, New Jersey 07030
U.S.A.
Tél.: (201) 792-2400

Van Waters & Rogers Ltd.
9800 Van Horne Way
Richmond (C.-B.)
V6X 1W5
Tél.: (604) 273-1441

Entreprises de dragage sélectionnées:

Argyle Ltée
650, rue Hudson
Montréal (Québec)
H4X 1X3
Tél.: (514) 488-6241

Beaver Marine Construction
Division Beaver Construction Group Ltd.
P.O. Box 1447 H.N.P.S.
Halifax (Nouvelle-Écosse)
B3K 5H7

Canadian Dredge & Dock Ltd.
60 Harbour Street
Toronto (Ontario)
M5J 1B8

Cartier-McNamara Corp.
P.O. Box 418
Whitby (Ontario)
L1N 5S4

Dean Construction Co., Ltd.
P.O. Box 3216
Tecumseh (Ontario)
N8N 2M4

Dillingham Construction Ltd.
20 Brooksbank Avenue
North Vancouver (C.-B.)
V7J 2B8

Dragage St-Maurice Ltée
84, Rang de l'Île
Notre-Dame de Pierreville (Québec)
J0G 1G0
Tél.: (514) 568-2806

Northern Construction Company Ltd.
1304 Hornby Street
Vancouver (C.-B.)
V6Z 1W6

Pitts Engineering Construction
Division of Banister Continental Ltd.
7500 Woodbine Avenue
Markham (Ontario)
L3R 4M8

Sceptre Riedel Dawson Ltd.
180, Chemin St-Ours
Sorel (Québec)
J3P 2L3
Tél.: (514) 742-5648

Sceptre Riedel Dawson Constructors Ltd.
14 400 River Road
Richmond (C.-B.)
V6C 1L3

Standard Dredging Co.
Saint-Jean (Nouveau-Brunswick)

ANNEXE B

FICHES TECHNIQUES DES PRODUITS POUR LES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT PHYSIQUE

ANNEXE B

FICHES TECHNIQUES DES PRODUITS POUR LES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT PHYSIQUE

PRODUIT: 3M Oil Absorbent **TYPE:** Sorbant

DESCRIPTION: Masse inerte enchevêtrée de fines fibres de polypropylène. Ce produit est oléophile et hydrophobe.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Formes disponibles	Rouleaux (0,9 x 0,46 m) Balais (0,48 x 0,3 m) Feuilles (0,0 x 0,9 x 0,1 m) Sacs de particules Coussins (0,36 x 0,63 m) Barrages (0,2 x 3 m)
Densité	0,043
Durée limite de stockage	Indéfinie
Exigences de stockage	Doit être protégé contre les rayons UV

CARACTÉRISTIQUES DE SERVICE

Toxicité	Non toxique
Élimination	Incinération (moins de 0,01 p. 100 de cendres)
Régénération	Essorage (20 cycles)

DEGRÉ DE PERFECTIONNEMENT ET USAGE: Le produit commercial est utilisé pour nettoyer les déversements d'hydrocarbures. Il est compatible avec une vaste gamme de substances chimiques dangereuses.

PERFORMANCE

Capacité	13 à 25 fois son poids (produits pétroliers)
Coût	122,35 $/paquet (100 feuilles de 0,46 x 0,46 x 0,01 m)

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant	Distributeur
Occupational Health & Safety Products 3M Canada Inc. P.O. Box 5757 London (Ontario) N6A 4T1	ANCO Chemicals Co. Ltd. 85 Malmo Court P.O. Box 400 Maple (Ontario) L0J 1E0 Tél.: (406) 832-2276

PRODUIT: SSC Sorbent **TYPE:** Sorbant

DESCRIPTION: Sorbant synthétique en polyuréthane.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Formes disponibles	Barrages (2,4 m 0,2 m de diamètre) Feuilles (0,3 x 1,8 x 0,04 m) Bandes (0,35 x 0,02x 0,01 m) Coussins (0,13 m^3)
Densité	< 1,0
Durée limite de stockage	Indéfinie
Exigences de stockage	Aucune

CARACTÉRISTIQUES DE SERVICE

Toxicité	Non toxique
Élimination	Recyclage, enfouissement ou incinération
Régénération	Essorage

DEGRÉ DE PERFECTIONNEMENT ET USAGE: Produit commercial utilisé pour le nettoyage des déversements d'hydrocarbures. Il est compatible avec certaines substances chimiques dangereuses.

PERFORMANCE

Compatibilité	Crésols	Tétrachlorure de carbone
	BPC	Disulfure de carbone
	Formaldéhyde	Chlorure de cyanogène
	Chloroforme	Acide chlorhydrique
	Aniline	Acide phosphorique
	Acide nitrique	

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant

Spill Control Company
828 North Grand Avenue
Covina, CA 91724
U.S.A.
Tél.: (213) 339-1259

PRODUIT: Safestep Sorbent **TYPE:** Sorbant

DESCRIPTION: Sorbant particulaire, inerte et inorganique, constitué de silicones et d'autres minéraux. Insoluble dans la plupart des solvants et acides minéraux forts.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Formes disponibles	Particules de 0,03 mm; conditionné en sacs de 11 kg
Durée limite de stockage	Indéfinie

CARACTÉRISTIQUES DE SERVICE

Toxicité	Non toxique
Élimination	Incinération ou enfouissement
Régénération	Ne peut être régénéré

DEGRÉ DE PERFECTIONNEMENT ET USAGE: Produit commercial mis au point pour le traitement des déversements de matières dangereuses. Aucune documentation sur son utilisation.

PERFORMANCE

Compatibilité	Produits pétrochimiques, acides et solutions caustiques, matières organiques et inorganiques, BPC

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant

Andesite of California Inc.
1260 South Goodrich Boulevard
Los Angeles, CA 90022
U.S.A.
Tél.: (213) 726-7602

PRODUIT: Tampons absorbants Conwed D **TYPE:** Absorbant

DESCRIPTION: Tampons de mousse polymérique de faible densité, légèrement abrasive, conçus pour l'absorption et la retenue des hydrocarbures et de produits chimiques déversés.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Formes disponibles	Tampons (0,5 x 0,5 x 0,006 m)
Densité	0,04
Durée limite de stockage	Indéfinie
Exigences de stockage	La température ne doit pas dépasser 77 °C

CARACTÉRISTIQUES DE SERVICE

Toxicité	Non toxique
Élimination	Incinération
Régénération	Essorage

DEGRÉ DE PERFECTIONNEMENT ET USAGE: Produit commercial utilisé pour le nettoyage des déversements d'hydrocarbures. Aucune documentation concernant son utilisation pour des matières dangereuses.

PERFORMANCE

Compatibilité	Aniline	Crésols
	Benzonitrile	Malathion
	Disulfure de carbone	Nitrobenzène
	Tétrachlorure de carbone	Perchloroéthylène
	Chlorobenzène	Plomb tétraéthyle
	Chloroforme	Trichloroéthane
Capacité		Jusqu'à 23 fois son poids (produits pétroliers)
Coût		95 $ pour une boîte de 80 tampons

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant	Distributeur
Conwed Corporation Sorbent Products Division 332 Minnesota Street P.O. Box 43237 St. Paul, MI 55164 U.S.A. Tél.: (612) 221-1144	Sorbco 5369 Maingate Drive Mississauga (Ontario) L4W 1G3 Tél.: (416) 624-1264

PRODUIT: Granulés absorbants **TYPE:** Absorbant

DESCRIPTION: Billes de copolymères réticulés qui absorbent divers liquides organiques et de nombreux composés polaires. Les granulés absorbants (appelés parfois "perles absorbantes") n'absorbent pas l'eau, les solides, les huiles à forte viscosité, les alcools à faible poids moléculaire, les glycols, l'acide acétique, l'acétonitrile, le nitrométhane ni les autres matières fortement polaires.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Formes disponibles	Billes, paquets, feuilles
Densité	Varie de 0,95 à plus de 1,0
Durée limite de stockage	Indéfinie
Exigences de stockage	Aucune

CARACTÉRISTIQUES DE SERVICE

Toxicité	Non toxique
Élimination	Selon le produit chimique imbibé

DEGRÉ DE PERFECTIONNEMENT ET USAGE: Vendus sur le marché sous forme de couverture absorbante et de cartouche pour réservoirs de stockage. Ils constituent un important élément du Multipurpose Gelling Agent - gélifiant polyvalent (MGA) de l'EPA.

PERFORMANCE

Capacité	Varie, mais peut atteindre 27 fois le volume initial des granulés
Coût	35,20 $/kg (poudre)

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant

EMCO Inc.
1015 Louisiana Street
Little Rock, AR 72207
U.S.A.
Tél.: (501) 374-7878

Distributeur

Produits chimiques ANCO Ltée
6905, boul. Hébert
Ville Ste-Catherine (Québec)
J0L 1E0
Tél.: (514) 632-0950

ANCO Chemicals Co. Ltd.
85 Malmo Court
P.O. Box 400
Maple (Ontario)
L0J 1E0
Tél.: (416) 832-2276

PRODUIT: Couverture absorbante Conwed **TYPE:** Absorbant

DESCRIPTION: Tapis résistant à l'eau, fait de fibres naturelles renforcées de polypropylène.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Formes disponibles	Rouleaux (0,9 x 6,1 m)
Densité	0,06
Durée limite de stockage	Indéfinie
Exigences de stockage	Tenir à l'abri de la pluie, du vent, du soleil. Ne pas entreposer à plus de 77 °C

CARACTÉRISTIQUES DE SERVICE

Toxicité	Non toxique
Élimination	Enfouissement, incinération
Régénération	Non réutilisable

PERFORMANCE

Capacité	Pétrole: retient 12 à 14 fois son poids
Coût	145 $/rouleau

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant	Distributeur
Conwed Corporation Sorbent Products Division 332 Minnesota Street P.O. Box 43237 St. Paul, MI 55164 U.S.A. Tél.: (612) 221-1144	CIL Inc. C.P. 836 Edmonton (Alberta) T5J 2L4 Tél.: (403) 465-0221

PRODUIT: Diasorb **TYPE:** Sorbant

DESCRIPTION: Matière légère, poreuse, inerte, inorganique, faite de silicate de sodium.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES:

Formes disponibles	Granules sphéroïdaux passant dans un tamis de 8 à 200 mailles
Densité	0,035
Durée limite de stockage	Indéfinie

CARACTÉRISTIQUES DE SERVICE

Toxicité	Faible
Élimination	Ininflammable

DEGRÉ DE PERFECTIONNEMENT ET USAGE: Le produit commercial a été conçu pour absorber toutes les matières dangereuses.

PERFORMANCE

Compatibilité	Acide nitrique, acide phosphorique, formaldéhyde, phénols, chlorure ferrique, acide chlorosulfonique
Capacité	Généralement supérieure à 10 l/kg de Diasorb

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant	Distributeur
Diamond Shamrock Corporation Soda Products Division 1100 Superior Avenue Cleveland, OH 44114 U.S.A. Tél.: (216) 694-4500	Sanivan Inc. 1705, 3e Avenue Pointe-aux-Trembles Montréal (Québec) H1B 5M9 Tél.: (514) 353-9170 Télex: 05-829559 Personne-ressource: Martin Girard

PRODUIT: SPC Oil Sorbent **TYPE:** Sorbant

DESCRIPTION: Sorbant synthétique formé de fibres de polypropylène non tissées, produites par extrusion-soufflage.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Formes disponibles	Tampons, barrages, balais, feuilles, coussins, particules en sacs
Densité	< 1,0
Durée limite de stockage	Indéfinie
Exigences de stockage	Non précisées

CARACTÉRISTIQUES DE SERVICE

Toxicité	Non toxique
Élimination	Incinération (produit moins de 0,1 p. 100 de cendres)
Régénération	Essorage ou tordage

DEGRÉ DE PERFECTIONNEMENT ET USAGE: Le produit commercial a été mis au point pour atténuer les effets des déversements d'hydrocarbures. La documentation fournie par le fabricant stipule que ce produit est compatible avec un certain nombre de substances chimiques dangereuses.

PERFORMANCE

Capacité	Pétrole: retient 10 à 20 fois son poids

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant	Distributeur exclusif pour le Québec
Sorbent Products Co., Inc. Maplewood, NJ U.S.A. Tél.: (201) 762-4705	Sanivan Inc. 1705, 3e Avenue Pointe-aux-Trembles Montréal (Québec) H1B 5M9 Tél.: (514) 353-9170 Télex: 05-829559 Personne-ressource: Martin Girard

PRODUIT: Multipurpose Gelling Agent - MGA (Agent gélifiant polyvalent) **TYPE:** Gélifiant

DESCRIPTION: Préparation constituée de quatre polymères fluidisés avec silice anhydre pour transformer les liquides aqueux, les matières organiques chlorées, les alcools et les hydrocarbures non polaires en une masse semi-solide.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT: Chaque élément constitutif du gélifiant entre en action avec des types différents de substances chimiques déversées; le produit crée un gel immobile qui peut être récupéré par des moyens mécaniques comme le dragage.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Composition	5 p. 100 de Gelgard M (Dow) 30 p. 100 de granulés absorbants (Dow) 30 p. 100 de Hycar 1422 (B F Goodrich) 25 p. 100 de Carbopol 934 (B F Goodrich) 10 p. 100 de silice anhydre
Formes disponibles	Poudre fluidisée dans de la silice fumée
Densité	< 1,0
Durée limite de stockage	Indéfinie
Exigences de stockage	Doit être conservé dans un endroit sec

CARACTÉRISTIQUES DE SERVICE

Toxicité	Teneur maximale admissible: 0,01 p. 100 en poids
Régénération	Ne peut être régénéré

DEGRÉ DE PERFECTIONNEMENT ET USAGE: Le MGA a été mis au point pour l'EPA par Calspan Corporation en vertu des contrats de l'U.S. EPA 68-01-0110 et 68-01-2093.

PERFORMANCE

Compatibilité	Aniline	Formaldéhyde
	Benzaldéhyde	o-Dichlorobenzène
	Disulfure de carbone	Dichlorure d'éthylène
	Tétrachlorure de carbone	Éthylène glycol
	Chloroforme	Trichloroéthylène
	Phénols	
Capacité		1 kg/10 l de liquide
Coût		14,30 $/kg

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Mis au point par	Pour
Calspan Corporation Environmental Systems Dept. P.O. Box 400 Buffalo, NY 14225 U.S.A. Tél.: (716) 632-7500 Télex: 91-270	Oil & Hazardous Materials Spills Branch Industrial Environmental Research Lab. - Ci U.S. Environmental Protection Agency Edison, NY 08837 U.S.A. Tél.: (201) 321-6634

PRODUIT: Chem-Gel **TYPE:** Gélifiant

DESCRIPTION: Poudre polymérique blanche inodore qui immobilise les produits chimiques en un gel facilement récupérable par des moyens mécaniques.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Formes disponibles	Poudre, flocons (en fûts ou en caisses)
Densité	0,34
Exigences de stockage	Doit être conservé dans un endroit sec

CARACTÉRISTIQUES DE SERVICE

Toxicité	Inconnue
Élimination	Enfouissement ou incinération
Régénération	Ne peut être régénéré

DEGRÉ DE PERFECTIONNEMENT ET USAGE: Commercialisé pour un grand nombre d'applications industrielles de sorbants.

COMPORTEMENT

Compatibilité	Solutions aqueuses, alcools, matières organiques polaires et non polaires
Capacité	Rapport d'adsorption maximal de 100:1

Remarque: Le temps de gélification dépend du rapport gélifiant/substance déversée.

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant	Distributeur
Industrial Services International Inc. P.O. Box 10834 Bradenton, FL 33507 U.S.A. Tél.: (813) 792-7778	E.S. Clark Associates, Inc. P.O. Box 40524 Jacksonville, FL 2203 U.S.A. Tél.: (904) 384-4393

PRODUIT: Indusorb **TYPE:** Gélifiant

DESCRIPTION: Granules ou flocons de polyacrylonitrile, inodores, de couleur brun pâle à blanc. Ce produit agglomère les produits chimiques en un gel facile à récupérer par des moyens mécaniques.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Formes disponibles	Granules ou flocons (en fûts ou en caisses)
Densité	0,38

CARACTÉRISTIQUES DE SERVICE

Régénération	Ne peut être régénéré

DEGRÉ DE PERFECTIONNEMENT ET USAGE: Commercialisé pour un grand nombre d'applications industrielles de sorbants.

PERFORMANCE

Compatibilité	Solutions aqueuses de solvants polaires et non polaires, acides, alcalis et hydrocarbures
Capacité	1 kg permet de gélifier 50 l de liquide

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant	Distributeur
Industrial Services International Inc. P.O. Box 10834 Bradenton, FL 33507 U.S.A. Tél.: (813) 792-7778	E.S. Clark Associates, Inc. P.O. Box 40524 Jacksonville, FL 32203 U.S.A Tél.: (904) 384-4393

PRODUIT: Muck-up Adsorbent **TYPE:** Adsorbant/solidifiant

DESCRIPTION: Granules de silicate d'aluminium et de calcium (montmorillonite) hydrosolubles, de couleur ocre, qui adsorbent le liquide pour former un mélange homogène qui ne s'écoule pas librement.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Formes disponibles	Granules: 0,2 p. 100 + 20 mesh, 1,5 p. 100 - 60 mesh
Densité relative	2,2
Durée limite de stockage	Indéfinie
Exigences de stockage	-

CARACTÉRISTIQUES DE SERVICE

Toxicité	Non toxique (*Remarque:* pH 5,8)
Élimination	Enfouissement
Régénération	Ne peut être régénéré

DEGRÉ DE PERFECTIONNEMENT ET USAGE: Commercialisé pour la récupération des produits chimiques insolubles dans l'eau, BPC, acides et substances caustiques, mazout lourd, essence, peintures, naphte, insecticides, rodenticides et fumigènes.

PERFORMANCE

Compatibilité	Produits insolubles dans l'eau, par exemple BPC, toluène et solvants
Coût	17,50 $ le paquet de 16 kg

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant

Mateson Chemical Corp.
1025 East Montgomery Avenue
Philadelphia, PA 19125
U.S.A.
Tél.: (215) 423-3200

ANNEXE C

UNITÉS MOBILES DE TRAITEMENT PHYSICO-CHIMIQUE

ANNEXE C

UNITÉS MOBILES DE TRAITEMENT PHYSICO-CHIMIQUE
(tiré de Solsberg et Parent, 1986)

PRODUIT: Système mobile autonome Met-Pro de l'EPA pour le traitement physico-chimique des eaux usées

DESCRIPTION: Système mobile de traitement des eaux usées, monté sur patins, constitué de pompes, de canalisations et de citernes pour le traitement de longue durée des eaux usées par neutralisation, floculation, sédimentation, adsorption sur charbon activé, filtration et désinfection. Des coagulants et d'autres produits chimiques peuvent être ajoutés aux eaux brutes dans une citerne de mélange rapide. La séparation des solides suit dans un bassin de floculation et un clarificateur. Les matières organiques dissoutes sont extraites dans deux colonnes d'adsorption sur charbon actif; le polissage s'effectue dans un filtre sous pression et l'effluent est désinfecté dans un réservoir de chloration.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

	Patins: floculation/ clarificateur	Adsorbeur/ filtre
Longueur (m)	4,6	7,5
Largeur (m)	3,0	3,0
Hauteur (m)	3,1	2,7
Poids (kg)		
à sec	5 454	7 727
en marche	24 090	20 454

CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

Capacité 189 m^3/j

Remarque: Toutes les opérations autres que l'ajout des produits chimiques et des agents de traitement sont commandées par des dispositifs automatiques de sorte que le système ne requiert qu'un seul opérateur pour le dosage des produits chimiques, l'élimination des boues et l'entretien mécanique général.

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Mis au point par

Met-Pro Corporation
Systems Division
167 Cassell, Box 144
Harleysville, PA 19438
U.S.A.
Tél.: (215) 723-6751

Pour

Oil & Hazardous Materials Spills Branch
Municipal Environmental Research Laboratory
U.S. Environmental Protection Agency
Edison, NJ 08837
U.S.A.
Tél.: (201) 321-6703
Personne-ressource: James T. Yezzi, Jr.

PRODUIT: Système mobile de floculation/décantation de l'EPA

DESCRIPTION: Système de traitement physico-chimique monté sur remorque pour la floculation, la décantation et la filtration des matières en suspension, en vue du prétraitement des eaux usées polluées par des matières dangereuses. Les produits chimiques peuvent être introduits dans le système en divers points d'un long réacteur tubulaire en S. Les mélangeurs statiques du réacteur assurent un mélange rapide; l'effluent est doucement agité dans des chambres de floculation; le floc s'accumule dans un décanteur tubulaire et est évacué dans un collecteur de boues; l'eau usée franchit pour terminer un filtre à trois couches et devra subir un traitement additionnel pour éliminer les matières dangereuses.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Dimensions	La remorque mesure 12,2 m de longueur Le réacteur tubulaire mesure 170 m de longueur

CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

Capacité	265 l/mn

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Oil & Hazardous Materials Spills Branch
Municipal Environmental Research Laboratory
U.S. Environmental Protection Agency
Edison, NJ 08837
U.S.A.
Tél.: (201) 321-6703

PRODUIT: Système mobile de traitement de l'eau de Calgon

DESCRIPTION: Système d'adsorption sur charbon actif, monté sur remorque, pour l'élimination des matières organiques dissoutes dans l'eau. Les eaux usées passent à travers des lits de charbon actif. L'effluent est évacué vers un endroit choisi par des conduites de refoulement.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Nombre de citernes	Une ou plusieurs en série
Capacité	Chaque citerne contient environ 10 tonnes de charbon actif en granulaire

INFORMATIONS GÉNÉRALES: Il est possible de louer ce système mobile de Calgon pour des opérations d'intervention lors de déversements de produits chimiques organiques. La firme peut être rejointe 24 h par jour en composant le numéro suivant: (412) 777-8000.

Fabricant

Calgon Environmental Systems Division
Calgon Corporation
P.O. Box 1346
Pittsburgh, PA 15230
U.S.A.
Tél.: (412) 923-2345

Distributeur

Calgon Canada
27 Finley Road
Bramalea (Ontario)
L6T 1B2
Tél.: (416) 457-5310

PRODUIT: Système de purification de l'eau par adsorption sur charbon actif

DESCRIPTION: Lit compact de charbon actif pour l'élimination des matières organiques dissoutes.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES:

Système de 860 l		Système de 3780 l
Charbon actif (kg)	270	1360
Diamètre (m)	1,22	1,68
Hauteur (m)	2,18	2,41

CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

Système de 860 l		Système de 3780 l
Pression normale (kPa)	103	103
Débit (l/mn)	38	189

INFORMATIONS GÉNÉRALES
Fabricant

Oil Recovery Systems, Inc.
299 Second Avenue
Needham (Heights), MA 02194
U.S.A.
Tél.: (617) 449-5222

PRODUIT: Système mobile de traitement des eaux usées au charbon actif en poudre (PACT)

DESCRIPTION: Système mobile de traitement par boues activées et par charbon en poudre pour le traitement des matières organiques biodégradables ou non. Le charbon actif pulvérulent est mélangé aux boues activées et aux eaux usées dans un bassin d'aération par contact. Les particules de charbon adsorbent les matières que ne peuvent assimiler les microorganismes. L'eau traitée est séparée des boues et du charbon épuisé dans un clarificateur et un filtre à sable à lit peu profond. Les déchets solides peuvent être déshydratés avant d'être éliminés.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES: Il existe quatre unités mobiles:

Désignation	Débit (capacité) (m^3/j)	Dimensions hors tout (larg. x long. x haut. (m))
PP-50	189	2,4 x 12,3 x 4,9
PP-100	378	3,6 x 12,8 x 3,6
PP-200	757	3,6 x 12,8 x 3,6
PP-300	1136	3,6 x 12,8 x 3,6

CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT: Il faut deux à trois jours pour installer le système sur les lieux du déversement.

INFORMATIONS GÉNÉRALES
Fabricant

Zimpro Inc.
Military Road
Rothschild, WI 54474
U.S.A.
Tél.: (715) 359-7211
Télex: 29-0495

PRODUIT: Système mobile de traitement physico-chimique de l'EPA

DESCRIPTION: Deux systèmes montés sur remorque, conçus pour le traitement des eaux polluées, et pouvant effectuer des opérations de floculation/décantation, de filtration et d'adsorption sur charbon.

L'eau polluée est pompée dans un réservoir de décantation où s'effectuent la floculation et la décantation. Le liquide clarifié franchit des filtres multicouches et des colonnes d'adsorption sur charbon actif. Chaque étape peut faire l'objet d'une dérivation pour ajuster le traitement en fonction des eaux à traiter.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Unité nº 1	13,7 m avec trois filtres à deux couches, trois colonnes de charbon sous pression, pompes, canalisations et une génératrice de 100 kW
Unité nº 2	Système plus petit, à milieu filtrant mixte unique et une colonne d'adsorption sur charbon sous pression
Réservoir de réaction/floculation	11 350 l
Réservoir de décantation	56 775 l
Filtres à deux couches	893 l
Colonnes de charbon actif	19 600 l

CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

Unité nº 1	6,3 à 37,8 l/s
Unité nº 2	1,8 l/s
Encombrement	15 x 30 m

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Oil & Hazardous Materials Spills Branch
Municipal Environmental Research Laboratory
U.S. Environmental Protection Agency
Edison, NJ 08837
U.S.A.
Tél.: (201) 321-6703

PRODUIT: Hydrocyclone Demco

DESCRIPTION: Un effet venturi est créé dans un cône afin d'extraire les matières particulaires d'un liquide en circulation.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Dimensions

Cône	Hauteur:	0,522 m
	Largeur max.:	0,225 m
	Poids:	22,7 kg
Pot de collection	Hauteur:	0,522 m

CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

La gamme de pression optimale correspond à un débit de 26,5 à 34 l/s.

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant

Demco Incorporated
845 S.E. 29th Street
P.O. Box 94700
Oklahoma City, OK 73143
U.S.A.
Tél.: (405) 631-1321

Distributeur

Demco Incorporated
9803-47th Avenue
Edmonton (Alberta)
T6E 5M7
Tél.: (403) 435-9251

PRODUIT: Unité mobile d'osmose inverse/ultrafiltration

DESCRIPTION: Système d'osmose inverse/ultrafiltration monté sur remorque, transportable par hélicoptère, conçu pour traiter l'eau polluée par des matières dangereuses. L'ultrafiltration (UF) est utilisée pour filtrer les matières fines en suspension ou les hydrocarbures. L'osmose inverse (OI) est utilisée pour la séparation des MeS et dissoutes, de même que pour l'élimination de la demande biologique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO); l'eau pure filtre à travers une membrane semi-perméable. Le concentré de produits chimiques est stocké pour être ultérieurement éliminé selon d'autres méthodes. Le perméat est retourné à sa source initiale non polluée.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Le système est constitué de deux séries de trois récipients sous pression contenant chacun jusqu'à deux membranes d'osmose inverse ou d'ultrafiltration.

Poids	1270 kg
Température de service	-28 à 38 °C

CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

Purification de l'eau	
OI	Eau de mer: 56,7 m^3/j
	Eau saumâtre: 113,5 m^3/j
UF	Eau polluée: 284,0 m^3/j
Intervalle du pH	2 à 11

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabriqué par

Memtek Corporation
87 Bentley Avenue
Nepean (Ontario)
K2C 6T7
Tél.: (613) 226-8381

Division des techniques d'intervention d'urgence
Centre environnemental de River Road
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8
Tél.: (613) 998-9622
Personne-ressource: Harry Whittaker

PRODUIT: Système d'ultrafiltration à fibres creuses

DESCRIPTION: Système portatif permettant de purifier par filtration l'eau polluée. Il se compose de cartouches filtrantes à fibres creuses, d'un réservoir de stockage du perméat, de pompes de circulation et de lavage à contre-courant. Ce système a été conçu pour le traitement des eaux résiduaires des procédés de métallurgie, de galvanoplastie et de transformation chimique, ainsi que pour des applications industrielles générales.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Hauteur	1,702 m
Largeur	1,118 m
Profondeur	0,813 m
Besoins en électricité	230 V, 30 à 60 Hz: 6,8 A 460 V, 30 à 60 Hz: 3,4 A

CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

Pression normale	172 kPa
Température de service	49 °C
Débit de recirculation	2,2 l/s

Il existe d'autres systèmes d'une capacité maximale de 142 m^3/j.

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Fabricant

Romicon, Inc.
Filiale de la société Rohm and Haas Inc.
100 Cummings Park
Woburn, MA 01801
U.S.A.
Tél.: (617) 935-7840
Télex: 94-9333